



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI *BOW CRANE PEDESTAL FSO ARCO ARDJUNA*

EVA JUNIATI

NRP. 4311100020

Dosen Pembimbing :

Yoyok Setyo Hadiwidodo ST., MT., Ph. D

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015



FINAL PROJECT - MO141326

STRENGTH ANALYSIS OF BOW CRANE PEDESTAL CONSTRUCTION ON FSO ARCO ARDJUNA

EVA JUNIATI

NRP. 4311100020

Supervisors :

Yoyok Setyo Hadiwidodo ST., MT., Ph. D

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2015

ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI BOW CRANE PEDESTAL FSO ARCO ARDJUNA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

EVA JUNIATI

NRP. 4311 100 020

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo ST., MT., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Pembimbing 2)

SURABAYA, AGUSTUS 2015

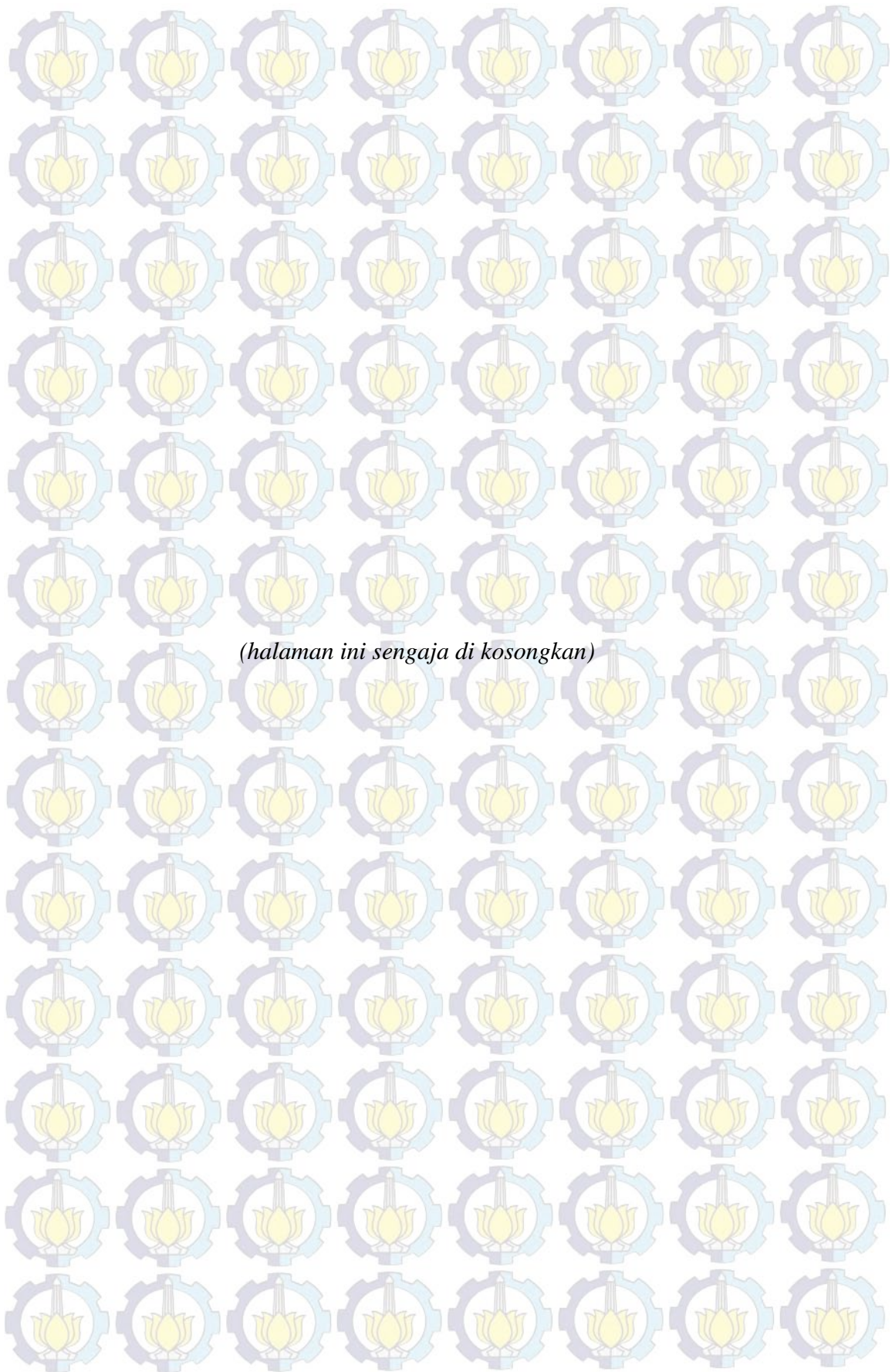
ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI *BOW CRANE PEDESTAL* FSO ARCO ARDJUNA

Nama Mahasiswa : Eva Juniati
NRP : 4311100020
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Yoyok S. H., S.T., M.T. Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini akan membahas kekuatan konstruksi *crane pedestal* akibat penambahan beban/ kapasitas pada *crane* pada FSO Arco Ardjuna, dalam hal ini perlu dilakukan *assessment* untuk mengetahui apakah struktur tersebut masih aman untuk beroperasi. FSO Arco Ardjuna berposisi stasioner, sehingga FSO harus memenuhi beberapa karakteristik tertentu dan cukup kuat untuk menahan beban operasional tambahan saat beroperasi di ladang minyak Arjuna, 83 km dari pantai Cilamaya, Karawang, Jawa Barat. Pada tugas akhir ini akan dianalisis tegangan lokal yang terjadi pada modifikasi konstruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna akibat penambahan beban angkat crane. Berdasarkan *axial load* dan *dynamic moment* terbesar yang bekerja pada crane akan dilakukan analisis tegangan lokal *bow crane pedestal* pada FSO Arco Ardjuna. Karakteristik kapal dapat kita lihat dengan RAO dimana motion yang paling dominan adalah gerakan *heaving* dan *rolling*. Trend RAO tertambat mengalami kondisi puncak pada kondisi *heaving* arah datang gelombang 90° dengan *encountering* frekuensi sebesar 0.543 rad/sec dan besar RAO 0.0004 (m/m). Sedang pada kondisi *roll* diperoleh trend RAO dengan kondisi puncak pada arah datang gelombang 90° *encountering* frekuensi sebesar 0.543 rad/sec dan besar RAO 0.0018 (deg/m). Hasil perhitungan *longitudinal bending moment* terbesar pada muatan *full load* kondisi *sagging* sebesar -586045.2 Ton.m dan *shear force* sebesar 18320 ton. Sedangkan distribusi tegangan pada konstruksi *bow crane pedestal* akibat gerakan struktur yaitu untuk tegangan maksimum sebesar 193.782 MPa dan deformasi sebesar 0.89573 mm terjadi pada saat FSO kondisi *full load* dengan arah heading pembebanan 0°. Hasil ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin dan deformasi yang dianjurkan oleh ABS yaitu 211.5 MPa dan 6 mm, sehingga konstruksi *crane pedestal* dalam batas aman untuk beroperasi.

Kata Kunci : *bow crane pedestal*, FSO, RAO, *heaving*, *rolling*, *von misses stress*



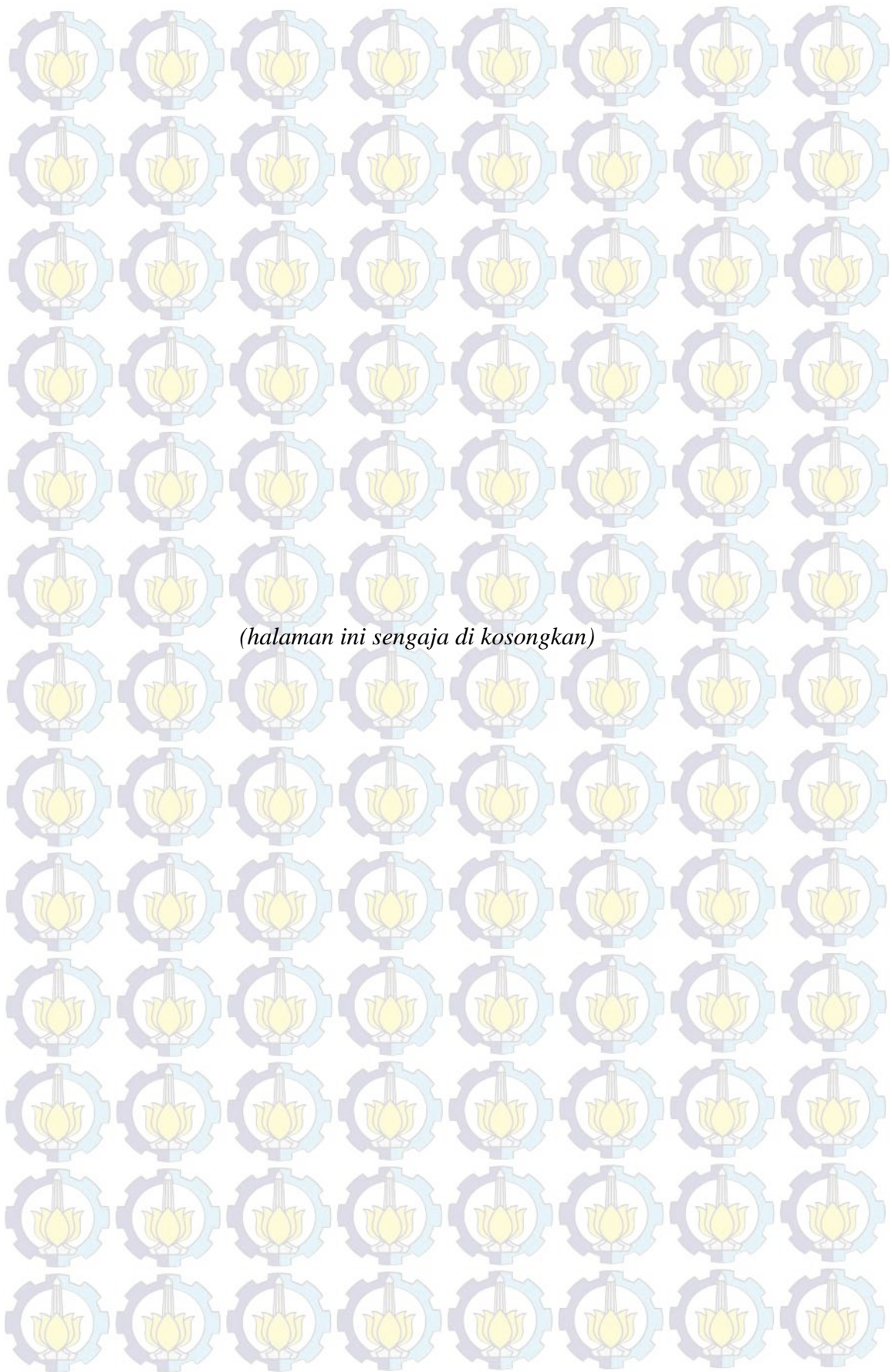
STRENGTH ANALYSIS OF BOW CRANE PEDESTAL CONSTRUCTION ON FSO ARCO ARDJUNA

Name : Eva Juniati
NRP : 4311100020
Department : Teknik Kelautan – FTK ITS
Supervisors : Yoyok S. H., S.T., M.T. Ph. D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

ABSTRACT

In this final analysis discuss the construction of crane pedestal due to additional load/ capacity on FSO Arco Adrjuna, in addition necessary assessment to determine whether the structure is still safe to operate. FSO Arco Adrjuna stationary position, so that FSO must meet certain characteristics and strong enough to withstand the additional operating expenses while operating in oil fields Arjuna, 83 km from the Coast Cilamaya, Karawang, West Java. In this final project will be analyzed local strength that occurs on a modified construction crane pedestal FSO bow Arco Ardjuna due to the addition of a load lifting crane. Based on axial load and dynamic moment load on the crane will be local stress analysis on a bow crane pedestal FSO Arco Adrjuna. Characteristics of the vessel can be seen by RAO where the dominant motion is heaving and rolling. . Retrieved trend RAO peak conditions on condition of heaving in the direction of coming waves 90° with encountering frequency 0.543 rad/sec and relative amplitude maximum RAO 0.0004 (m/m). Rolling obtained on condition of RAO trend with peak conditions in the direction of coming wave 90° with encountering frequency 0.543 rad/sec and relative amplitude maximum RAO 0.0018 (deg/m). The largest longitudinal bending moment calculation full load on sagging condition is -586045.2 Ton.m and shear force 18320 Tonnes. While the stress distribution on construction bow crane pedestal due to the structure of the movement is for a maximum of 193.782 MPa stress and deformation of 0.89573 mm occurs during full load conditions with FSO heading towards loading 0° . This stress and deformation is less than the allowable maximum stress required by ABS, 211.5 MPa and 6 mm so that the structure is safe to operate after the modification is addition crane load.

Keywords : bow crane pedestal, FSO, RAO, heaving, rolling, von misses stress



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur Alhamdulillah saya ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada saya, sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan lancar. Shalawat serta salam saya panjatkan kepada Rasul kita Muhammad SAW, karena berkat suri tauladan dan semangat beliau kita bisa lepas dari jaman jahiliyah menuju jaman Islamiyah.

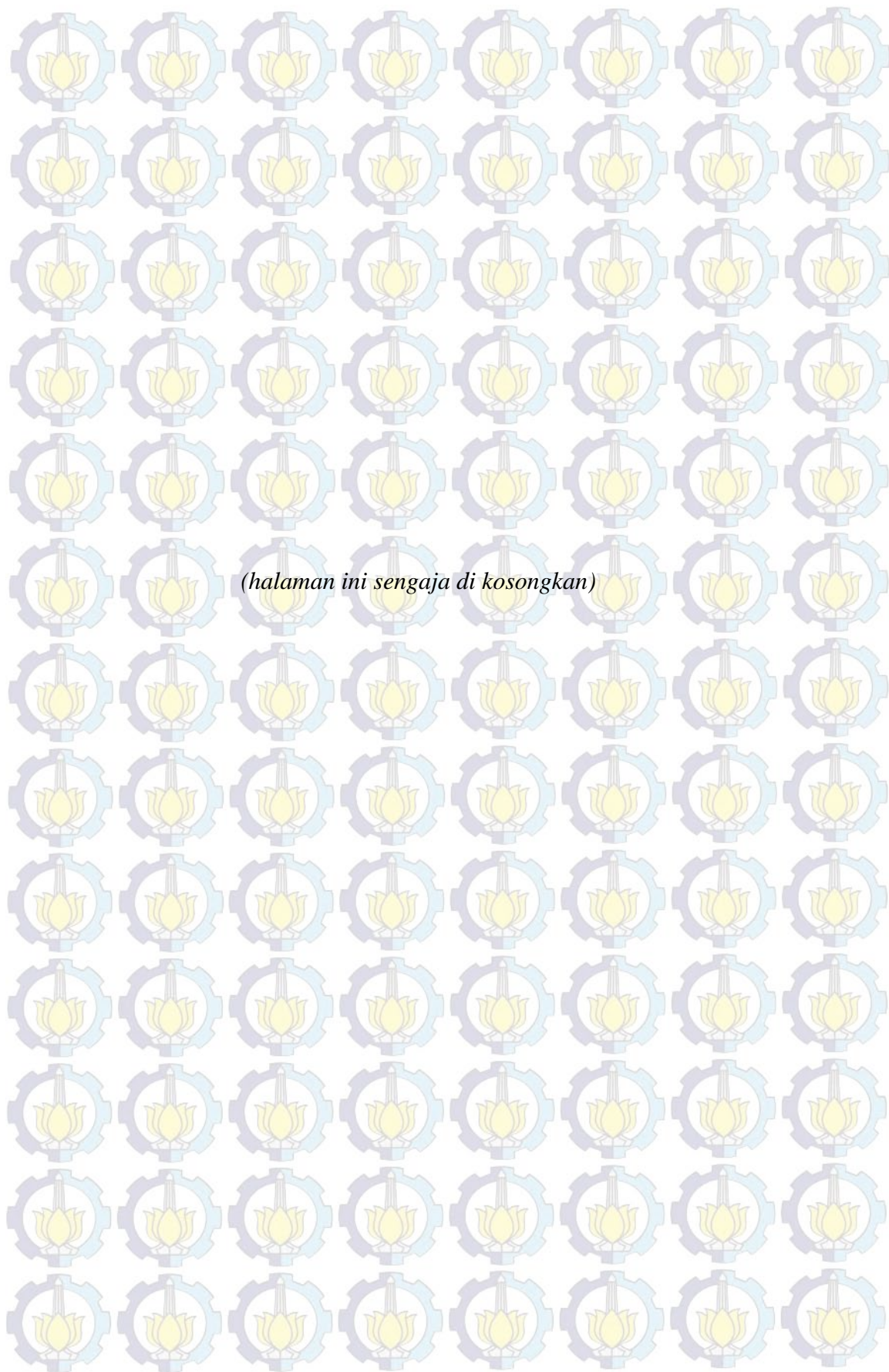
Laporan Tugas Akhir yang berjudul, “**Analisis Kekuatan Konstruksi Bow Crane Pedestal FSO Arco Ardjuna**” ini disusun sebagai pemberi informasi tertulis tentang proses keseluruhan dari pengerjaan Tugas Akhir saya. Laporan ini juga merupakan salah satu syarat akademis yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini menitikberatkan pada kekuatan modifikasi konstruksi *crane pedestal* akibat penambahan kapasitas beban angkat dan pembebanan dari 4 arah *heading* (0° , 45° , 90° , dan 180°) dengan memperhitungkan kekuatan memanjang kapal untuk dipakai sebagai pembebanan pada pemodelan lokal struktur sehingga didapatkan hasil tegangan maksimum struktur masih aman untuk beroperasi dengan beban lingkungan 100 tahunan selama umur operasi.

Penulis mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis sendiri pada khususnya..

Surabaya, Agustus 2015

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR SIMBOL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 FSO (<i>Floating Storage and Offloading System</i>)	10
2.2.2 <i>Crane</i>	11
2.2.2.1 <i>Crane pedestal</i>	12
2.2.3 Teori Gerak Kapal	13
2.2.4 Gelombang Sinusoidal	15
2.2.5 <i>Heading</i> (Arah) Kapal terhadap Arah Gelombang	17
2.2.6 Gerakan <i>Heave</i> Murni (<i>Uncouple Heaving Motion</i>).....	18
2.2.7 Gerakan <i>Sway</i> Murni (<i>Uncouple Swaying Motion</i>).....	20
2.2.8 Gerakan <i>Surge</i> Murni (<i>Uncouple Surging Motion</i>).....	22

2.2.9 Gerakan <i>Pitch</i> Murni (<i>Uncouple Pitching Motion</i>).....	24
2.2.10 Gerakan <i>Roll</i> Murni (<i>Uncouple Rolling Motion</i>).....	27
2.2.11 Gerakan <i>Yaw</i> Murni (<i>Uncouple Yawing Motion</i>).....	29
2.2.12 Gerakan <i>Couple Six Degree of Freedom</i>	31
2.2.13 Respon Struktur.....	32
2.2.14 Konsep Pembebanan	32
2.2.15 Beban Angin.....	33
2.2.16 Beban Angkat <i>Crane</i>	37
2.2.17 Kekuatan Memanjang Kapal.....	38
2.2.18 <i>Longitudinal Bending Moment</i> pada <i>Still Water</i>	40
2.2.19 <i>Longitudinal Bending Moment</i> pada <i>Calm Water</i>	41
2.2.20 <i>Longitudinal Bending Moment</i> Pada <i>Regular Wave (Strip Theory)</i>	42
2.2.21 Tegangan yang Bekerja pada <i>Crane</i>	44
2.2.22 Tegangan <i>Axial</i>	45
2.2.23 Tegangan Geser.....	47
2.2.24 Tegangan <i>Von Misses</i>	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1 Metode Penelitian.....	51
3.2 Prosedur Penelitian.....	53
3.3 Pengumpulan Data	55
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Pemodelan Struktur	59
4.1.1 Pemodelan FSO Arco Ardjuna	59
4.1.2 Pemodelan <i>Single Point Mooring</i>	60
4.2 Hidrostatik.....	61
4.3 <i>Lines Plan</i>	63
4.4 Analisis Gerakan Kapal.....	64
4.5 <i>Response Amplitude Operator [RAO]</i>	68
4.5.1 RAO SPM Kondisi <i>Free Floating</i>	68
4.5.1.1 Grafik RAO SPM Kondisi <i>Free Floating</i>	69
4.5.2 RAO FSO Arco Ardjuna	73
4.5.2.1 RAO FSO <i>Free Floating</i> Kondisi <i>Full Load</i>	74

4.5.2.2	RAO FSO <i>Free Floating</i> Kondisi <i>Light Load</i>	78
4.5.3	<i>Mooring Analysis</i>	83
4.5.3.1	Penentuan Panjang Minimum <i>Anchor Line</i> pada SPM	83
4.5.3.2	Arah Pembebanan Gelombang pada <i>Mooring Analysis</i>	83
4.5.3.3	RAO SPM Tertambat Kondisi FSO <i>Full Load</i>	85
4.5.3.4	RAO SPM Tertambat Kondisi FSO <i>Light Load</i>	89
4.5.3.5	RAO FSO Tertambat Kondisi <i>Full Load</i>	94
4.5.3.6	RAO FSO Tertambat Kondisi <i>Light Load</i>	98
4.5.4	Perhitungan <i>Single Amplitude Accelerations</i> pada FSO Arco Ardjuna ..	103
4.6	<i>Curve Of Sectional Area (CSA)</i>	104
4.7	Penyebaran Berat FSO Arco Ardjuna	105
4.8	Penyebaran Gaya Apung (<i>Buoyancy</i>)	107
4.9	Analisis Distribusi Tegangan Global FSO Arco Ardjuna Kondisi <i>Calm Water</i> dengan Maxsurf Hydromax	107
4.10	Penyebaran Gaya Geser dan Bending Momen Pengaruh Muatan Kondisi <i>Sagging-Hogging</i>	109
4.11	Perhitungan Gaya Inersia	114
4.12	Tegangan <i>Axial</i>	118
4.13	Perhitungan Beban Angin	118
4.13.1	Perhitungan Beban Angin Kecepatan Angin	118
4.13.2	Gaya Angin	118
4.14	Beban Angkat <i>Crane</i>	120
4.15	Pemodelan Submodeling dan Penentuan <i>Boundary Condition</i> pada Analisis <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	120
4.15.1	Dimensi <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	120
4.15.2	Pemodelan <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	121
4.16	Analisis Tegangan Kontruksi <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna.....	124
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		130
5.1	Kesimpulan	130
5.2	Saran	131

DAFTAR PUSTAKA	xxx1
----------------------	------

LAMPIRAN A	
------------	--

LAMPIRAN B	
------------	--

LAMPIRAN C	
------------	--

BIODATA PENULIS	
-----------------	--

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 FSO (<i>Floating Storage and Offloading System</i>) Arco Ardjuna.....	2
Gambar 1.2 Konstruksi bow crane pada FSO Arco Ardjuna	3
Gambar 1.3 Lokasi bow crane pada FSO Arco Ardjuna	4
Gambar 2.1 <i>Crane</i>	12
Gambar 2.2 Posisi <i>horizontal</i> dari <i>Boom Tip Crane</i>	12
Gambar 2.3 <i>Six degree of freedom</i> pada Bangunan Apung.....	14
Gambar 2.4. Gelombang sinusoidal	15
Gambar 2.5 Vektor dari <i>simple harmonic motion</i>	16
Gambar 2.6 Definisi arah datang gelombang terhadap <i>heading</i> kapal.....	18
Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan heaving	18
Gambar 2.8 Ilustrasi Gerakan Swaying	21
Gambar 2.9 Ilustrasi kondisi pitching pada saat still water	25
Gambar 2.10 Ilustrasi kondisi <i>rolling</i> kapal pada saat <i>still water</i>	27
Gambar 2.10 <i>Free Body diagram crane</i>	38
Gambar 2.11 <i>Sagging</i> dan <i>hogging</i>	39
Gambar 2.12 Gaya vertikal (<i>weight</i> dan <i>buoyancy</i>) yang mempengaruhi	40
Gambar 2.13 <i>Shearing force</i> dan <i>bending moment</i>	41
Gambar 2.14 <i>Still water</i> dan <i>wave bending moment</i>	42
Gambar 2.15 Tegangan tiga dimensi pada suatu elemen.	44
Gambar 2.16 Gaya geser pada balok	46
Gambar 2.17 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial, (+) tarik dan (-) tekan	46
Gambar 2.18 Tegangan lentur (<i>bending</i>) pada suatu penampang	47
Gambar 2.19 Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang	47
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengerjaan Tugas Akhir	51
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengerjaan Tugas	52
Gambar 4.1 <i>General Arrangement</i> (GA) FSO Arco Ardjuna	60
Gambar 4.2 Pemodelan FSO Arco Ardjuna menggunakan Maxsurf Modeler	60
Gambar 4.3 Pemodelan <i>body interface</i> SPM menggunakan CAD 3D	61

Gambar 4.4 Lines Plan FSO Arco Ardjuna.....	64
Gambar 4.5 Pemodelan FSO tanpa <i>mooring</i> dengan menggunakan Ansys Aqwa	66
Gambar 4.6 Pemodelan SPM tanpa <i>mooring</i> dengan menggunakan Ansys Aqwa	66
Gambar 4.7 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 0°	69
Gambar 4.8 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 0°	69
Gambar 4.9 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 45°	70
Gambar 4.10 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 45°	70
Gambar 4.11 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 90°	71
Gambar 4.12 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 90°	71
Gambar 4.13 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 180°	72
Gambar 4.14 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> untuk SPM dengan arah <i>heading</i> 180°	72
Gambar 4.15 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi full load dengan arah <i>heading</i> 0°	74
Gambar 4.16 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi full load dengan arah <i>heading</i> 0°	74
Gambar 4.17 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi full load dengan arah <i>heading</i> 45°	75
Gambar 4.18 Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi full load dengan arah <i>heading</i> 45°	75
Gambar 4.19 Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi full load dengan arah <i>heading</i> 90°	76

Gambar 4.20	Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	76
Gambar 4.21	Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	77
Gambar 4.22	Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	77
Gambar 4.23	Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	78
Gambar 4.24	Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	79
Gambar 4.25	Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	79
Gambar 4.26	Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	80
Gambar 4.27	Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	80
Gambar 4.28	Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	81
Gambar 4.29	Grafik RAO translasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	81
Gambar 4.30	Grafik RAO rotasional saat <i>free floating</i> pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	82
Gambar 2.31	Panjang minimum mooring line (Faltinsen, 1990)	83
Gambar 4.32	Arah pembebanan gelombang pada <i>mooring analysis</i>	84
Gambar 4.33	Pemodelan FSO dengan <i>mooring</i> menggunakan Ansys Aqwa	84
Gambar 4.34	Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	85
Gambar 4.35	Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	85
Gambar 4.36	Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	86

Gambar 4.37 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	86
Gambar 4.38 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	87
Gambar 4.39 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	87
Gambar 4.40 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	88
Gambar 4.41 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	88
Gambar 4.42 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	89
Gambar 4.43 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	90
Gambar 4.44 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	90
Gambar 4.45 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	91
Gambar 4.46 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	91
Gambar 4.47 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	92
Gambar 4.48 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	92
Gambar 4.49 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	93
Gambar 4.50 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	94
Gambar 4.51 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	94
Gambar 4.52 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	95

Gambar 4.53 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	95
Gambar 4.54 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	96
Gambar 4.55 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	96
Gambar 4.56 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	97
Gambar 4.57 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>full load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	97
Gambar 4.58 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	98
Gambar 4.59 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 0°	99
Gambar 4.60 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 45°	99
Gambar 4.63 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 90°	101
Gambar 4.64 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	101
Gambar 4.65 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi <i>light load</i> dengan arah <i>heading</i> 180°	102
Gambar 4.66 <i>Curve of Sectional Area</i> FSO Arco Ardjuna	105
Gambar 4.67 Grafik penyebaran berat MST NIRIA Muatan Kosong	106
Gambar 4.68 Penyebaran Berat FSO Arco Ardjuna Muatan Penuh (merah : DWT, biru : LWT)	106
Gambar 4.69 Penyebaran gaya apung FSO Arco Ardjuna	107
Gambar 4.70 Penyebaran <i>shear force</i> dan <i>bending moment light load</i>	108
Gambar 4.71 Penyebaran <i>shear force</i> dan <i>bending moment full load</i>	108
Gambar 4.72 <i>Output</i> grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment light load</i> kondisi <i>sagging</i> pada gelombang regular	110

Gambar 4.73 Output grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment light load</i> kondisi <i>hogging</i> pada gelombang regular	110
Gambar 4.74 Output grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment</i> kondisi <i>full load</i> kondisi <i>sagging</i> pada gelombang regular.....	111
Gambar 4.75 Output grafik <i>shear force</i> dan <i>bending moment</i> kondisi <i>full load</i> kondisi <i>hogging</i> pada gelombang regular	111
Gambar 4.76 Ilustrasi posisi <i>bow crane</i> pada FSO Arco Ardjuna	112
Gambar 4.77 (a) Sub modeling frame 16 (b) Sub modeling frame 17, 18 dan 19 (c) Sub modeling frame 20.....	114
Gambar 4.78 Ilustrasi posisi <i>bow crane</i> dari COG FSO Arco Ardjuna	116
Gambar 4.79 Konstruksi <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	120
Gambar 4.80 Foto <i>existing</i> konstruksi <i>bow crane pedestal</i> pada FSO Arco Ardjuna.....	121
Gambar 4.81 Pemodelan <i>interface</i> konstruksi <i>bow crane pedestal</i> pada CAD 3D	122
Gambar 4.82 Sub modeling analisis tegangan global pada frame 16-20 FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan CAD 3D	123
Gambar 4.83 (a) (b) (c) Distribusi tegangan dan defromasi maksimum pada <i>bow crane pedestal</i> FSO Arco Adrjuna pada kondisi <i>full load</i> arah pembebanan 0°	125
Gambar 4.84 Model elemen dengan meshing 150 mm	126
Gambar 4.85 Sensitivitas model konstruksi <i>bow crane pedestal</i>	127
Gambar 4.86 <i>Stress maximum</i> pada <i>bow crane pedestal</i> pembebanan 90° kondisi <i>Full Load</i>	127
Gambar 4.87 <i>Stress maximum</i> pada <i>bow crane pedestal</i> pembebanan 0° kondisi <i>Light Load</i>	128

DAFTAR TABEL

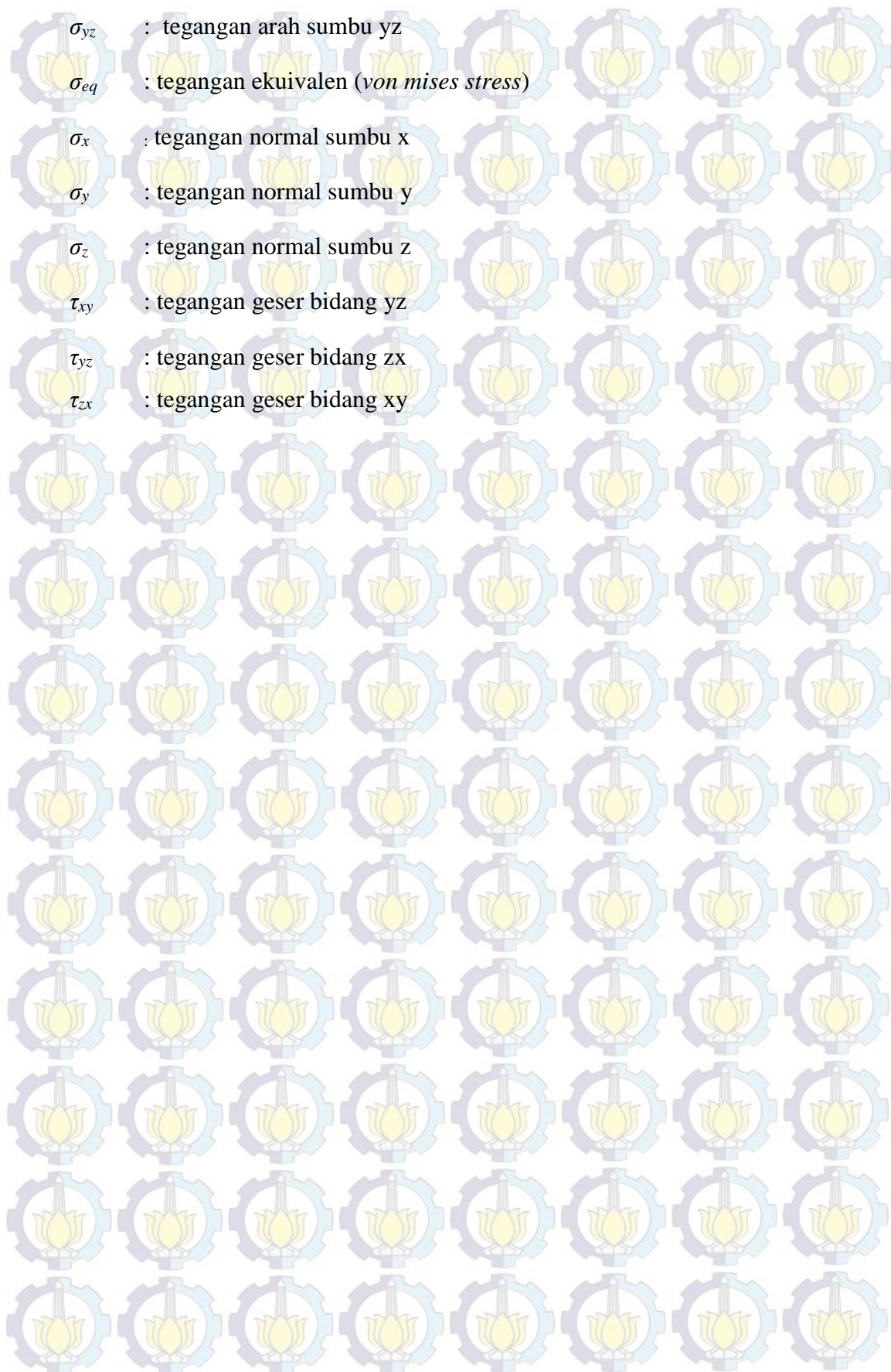
Tabel 3.1 <i>Principle dimension</i> FSO Arco Ardjuna	55
Tabel 3.2 <i>Main dimension CALM buoy</i>	55
Tabel 3.3 <i>Mooring Hawser</i>	56
Tabel 3.4 <i>Anchor Legs and Pattern Definition</i>	56
Tabel 3.5 Data lingkungan.....	56
Tabel 3.6 <i>General Arrangement Pedestal Crane</i>	57
Tabel 3.7 Dimensi <i>Bow Crane</i> Pedestal FSO Arco Ardjuna.....	57
Tabel 4.1 <i>Principal Dimension</i> FSO Arco Ardjuna	59
Tabel 4.2 <i>Main dimension CALM buoy</i>	61
Tabel 4.3 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi <i>full load</i>	62
Tabel 4.4 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi <i>light load</i>	63
Tabel 4.5 Data lingkungan.....	65
Tabel 4.6 Data KG pada FSO.....	65
Tabel 4.7 Data <i>radius gyration</i> pada FSO	65
Tabel 4.8 Data KG dan <i>radius gyration</i> pada SPM.....	65
Tabel 4.7 Perbandingan data hidrostatik pemodelan Ansys Aqwa dengan data	67
Tabel 4.8 Perbandingan data hidrostatik pemodelan Ansys Aqwa dengan data	67
Tabel 4.9 Nilai maksimum RAO SPM Kondisi <i>Free Floating</i>	73
Tabel 4.10 Nilai RAO FSO maksimum <i>Free Floating</i> Kondisi <i>Full Load</i>	78
Tabel 4.11 Nilai maksimum RAO FSO <i>Free Floating</i> Kondisi <i>Light Load</i> ..	82
Tabel 4.12 Nilai maksimum RAO SPM Tertambat Kondisi FSO <i>Full Load</i> ..	89
Tabel 4.13 Nilai maksimum RAO SPM Tertambat Kondisi FSO <i>Light Load</i>	93
Tabel 4.14 Nilai maksimum RAO FSO Tertambat Kondisi <i>Full Load</i>	98
Tabel 4.15 Nilai maksimum RAO FSO Tertambat Kondisi <i>Light Load</i>	102
Tabel 4.16 <i>Output Maximum Single Amplitude Accelerations</i> pada FSO Arco Ardjuna Kondisi <i>Full Load</i>	103

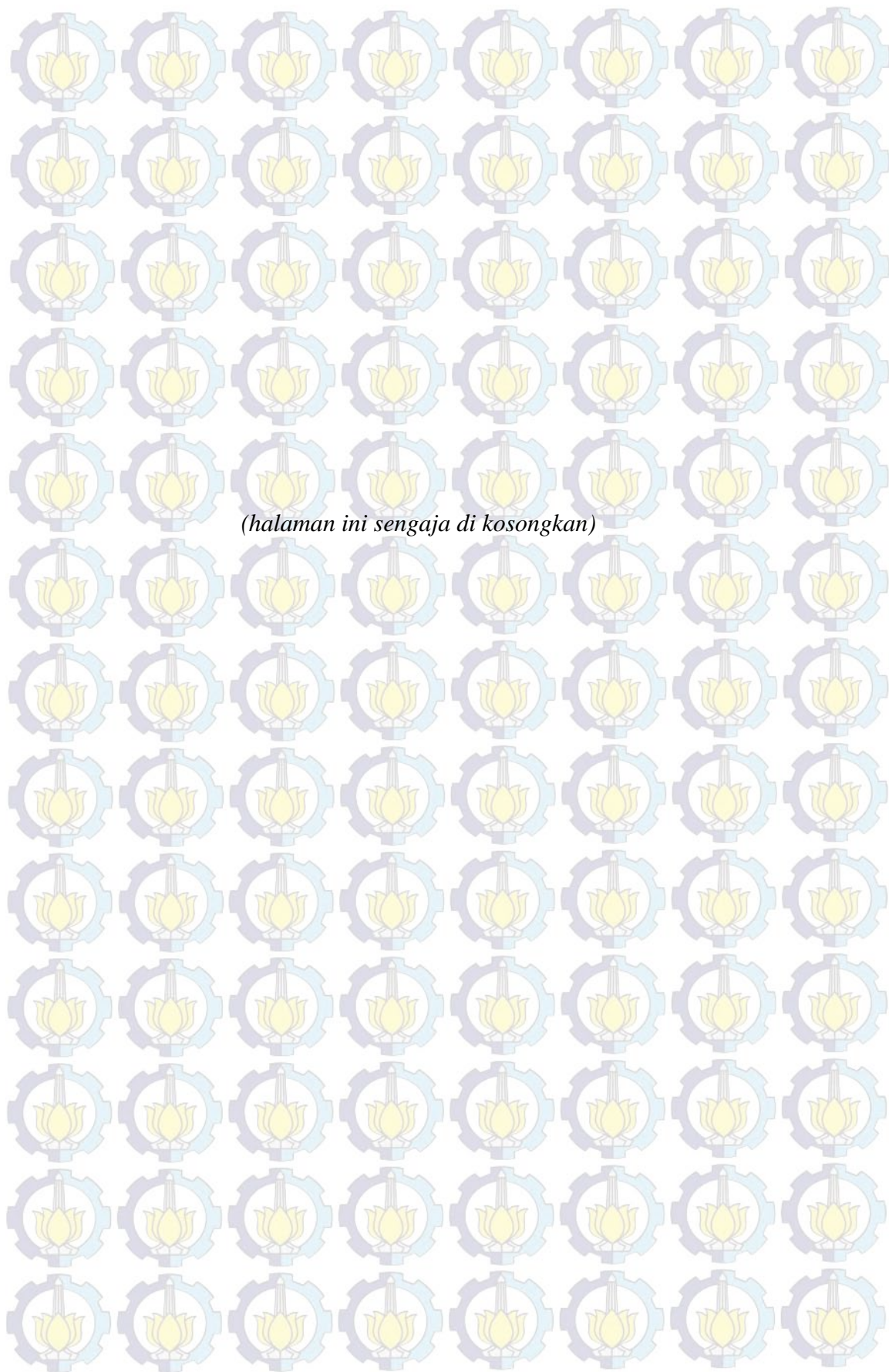
Tabel 4.17 <i>Output Maximum Single Amplitude Accelerations</i> pada FSO Arco Ardjuna Kondisi <i>Light Load</i>	104
Tabel 4.19 <i>Shear force</i> dan <i>bending moment</i> pada frame 16-21 pada FSO Arco Ardjuna kondisi <i>Reguler Wave</i> Kondisi <i>Full Load</i>	112
Tabel 4.20 <i>Shear force</i> dan <i>bending moment</i> pada frame 16-21 pada FSO Arco Ardjuna kondisi <i>Reguler Wave</i> Kondisi <i>Light Load</i>	113
Tabel 4.20 Gaya Inersia akibat Gerakan Translasi Kondisi <i>Light Load</i>	115
Tabel 4.21 Gaya Inersia akibat Gerakan Translasi Kondisi <i>Full Load</i>	115
Tabel 4.22 Gaya inersia akibat gerakan rotasional kondisi <i>light load</i>	117
Tabel 4.23 Gaya inersia akibat gerakan rotasional kondisi <i>full load</i>	117
Tabel 4.24 Shapes Coefficients C for Sphere-Shaped Structure	119
Tabel 4.25 Dimensi <i>Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	120
Tabel 4.26 <i>Material Properties Bow Crane Pedestal</i> FSO Arco Ardjuna	121
Tabel 4.27 Parameter pembebanan kondisi <i>light load</i>	122
Tabel 4.28 Parameter pembebanan kondisi <i>full load</i>	122
Gambar 4.82 Sub modeling analisis tegangan global pada frame 16-20 FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan CAD 3D	123
Tabel 4.28 Parameter pembebanan DWT kondisi <i>full load</i> dan <i>light load</i> ..	124
Tabel 4.29 Tabulasi hasil <i>Maximum Von Mises Stress</i> untuk variasi kerapatan <i>meshing</i>	126

DAFTAR SIMBOL

$a\ddot{x}$: <i>inertial force surge</i>
$b\dot{x}$: <i>damping force surge</i>
cx	: <i>restoring force surge</i>
F_0	: <i>exciting force</i>
ω_e	: frekuensi gelombang papasan
t	: waktu
$a\ddot{y}$: <i>inertial force sway</i>
$b\dot{y}$: <i>damping force sway</i>
cy	: <i>restoring force sway</i>
Δ	: displasmen kapal
G	: titik tangkap gaya berat (titik berat)
B	: titik tangkap gaya tekan keatas (titik <i>bouyancy</i>)
γV	: gaya tekan keatas
W_0L_0	: <i>water line</i> keadaan awal
W_1L_1	: <i>water line</i> keadaan <i>heave</i>
$a_z\ddot{z}$: tambahan gaya tekan keatas karena <i>added mass</i>
z	: besar jarak simpangan <i>heave</i>
$a\ddot{z}$: <i>inertial force</i>
$b\dot{z}$: <i>damping force</i>
cz	: <i>restoring force</i>
M_0	: amplitudo momen eksitasi
$a\ddot{\phi}$: <i>inertial moment roll</i>
$b\dot{\phi}$: <i>damping moment roll</i>
$c\phi$: <i>restoring moment roll</i>
M_0	: amplitudo momen eksitasi
$a\ddot{\theta}$: <i>inertial moment pitch</i>
$b\dot{\theta}$: <i>damping moment pitch</i>
$c\theta$: <i>restoring moment pitch</i>
$a\ddot{\psi}$: <i>inertial moment yaw</i>
$b\dot{\psi}$: <i>damping moment yaw</i>

$c\varphi$: restoring moment yaw
 M_{jk} : komponen matriks massa kapal
 A_{jk} : matriks koefisien massa tambah
 B_{jk} : matriks koefisien redaman
 C_{jk} : koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali
 F_j : amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks
 D : kedalaman perairan
 λ : panjang gelombang
 $Xp(\omega)$: amplitude struktur
 $\eta(\omega)$: amplitudo gelombang
 S_R : spektrum respon
 $S(\omega)$: spektrum gelombang
 ω : frekuensi gelombang
 g : gravitasi bumi
 X : panjang *fetch*
 U_w : kecepatan angin
 Y : parameter puncak dapat dicari dengan persamaan
 T_p : periode puncak spektra
 H_s : tinggi gelombang signifikan
 τ : parameter bentuk
 x : jarak minimum rantai jangkar
 l : panjang keseluruhan rantai jangkar (m)
 h : jarak titik tumpu (*bollard*) ke *seabed*
 W : berat rantai jangkar
 σ_0 : tegangan utama yang bekerja pada sumbu
 σ_x : tegangan arah sumbu x
 σ_y : tegangan arah sumbu y
 σ_z : tegangan arah sumbu z
 σ_{xy} : tegangan arah sumbu xy
 σ_{xz} : tegangan arah sumbu xz



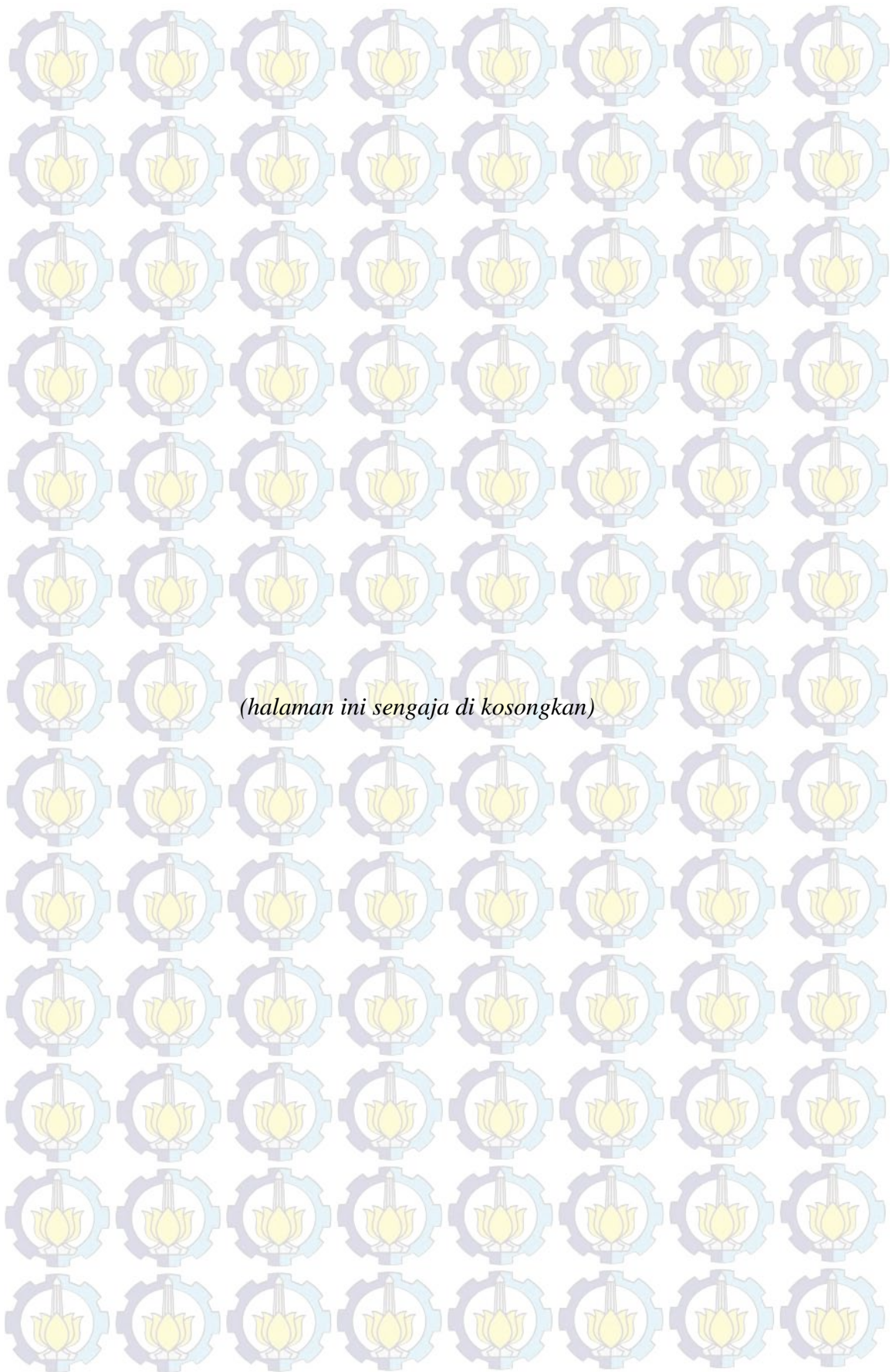


DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A *Drawing*

LAMPIRAN B *Data Load Distribution FSO Arco Ardjuna*

LAMPIRAN C *Mesh Sensitivity Analysis*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan sarana transportasi laut memberikan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal ini yang memunculkan inovasi-inovasi baru di dunia maritim. Salah satu inovasi baru tersebut adalah modifikasi struktur *crane pedestal* sebagai struktur penunjang pada *floating structure* akibat penambahan beban/ kapasitas angkat *crane*. Dalam modifikasi ini perlu dilakukan adanya *assessment* untuk mengetahui apakah struktur tersebut masih aman untuk beroperasi. Hal ini merupakan salah satu alasan proses ini dilakukan di seluruh dunia. Hampir 70% kapal *floating structure* yang beroperasi di seluruh dunia mengalami modifikasi konstruksi *crane pedestal* akibat semakin bertambahnya beban angkat *crane* untuk menunjang aktivitas produksi yang berlangsung di *floating structure* tersebut. Selain itu proses modifikasi ini juga bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya *overload* pada proses *loading crane* yang lebih cepat (Ochi, 1973).

FSO adalah fasilitas terapung yang dipasang di sekitar ladang minyak dan gas bumi yang fungsinya menyimpan dan menyalurkan minyak dan gas bumi ke *shuttle tanker*. FSO ini terdiri dari sebuah struktur terapung berbentuk kapal tanker yang secara permanen ditambatkan di tempatnya beroperasi dan mendapatkan pengaruh yang signifikan dari beban gelombang dan angin. Sehingga untuk dapat melakukan fungsinya dengan baik FSO ditambat dengan bantuan *mooring system*. Sistem *mooring* yang digunakan dalam operasi FSO ini adalah sistem *mooring* SPM (*Single Point Mooring System*) yaitu jenisnya adalah SALM (*Single Anchored Leg Mooring*) dan CALM (*Catenary Anchored Leg Mooring*). Jenis *single point mooring* adalah tipe sistem tambat yang bersifat dapat mengikuti kondisi lingkungan (*weathervane*). Jadi saat beroperasi, FSO atau struktur terapung lainnya dapat bergerak mengikuti arah gelombang namun tetap tertambat pada *mooring*.

Hal yang mempengaruhi efektivitas pengoperasian suatu sistem terapung di laut ialah *seaworthiness* dan *seakindliness*. *Seaworthiness* adalah kondisi dimana sebuah kapal atau anjungan lepas pantai dapat dianggap mampu beroperasi sesuai dengan fungsinya dan selanjutnya akan mampu selamat dari berbagai kondisi operasi yang buruk (kondisi ekstrem), bila sarana atau wahana yang tersedia mempunyai kelayak lautan yang memadai (Djatkiko, 2012). Sedangkan *seakindliness* merupakan indikasi keselamatan di laut dan menjadi salah satu kriteria yang harus dipenuhi oleh sistem yang dirancang (Djatkiko, 2012). Keselamatan dalam hal ini ialah keselamatan para ABK, barang-barang yang diangkut, serta penumpang. Dari kedua keadaan tersebut maka diperlukan analisis untuk mengetahui pergerakan dan tegangan yang terjadi pada FSO sehingga dapat dikatakan bahwa struktur tersebut masih aman untuk beroperasi.

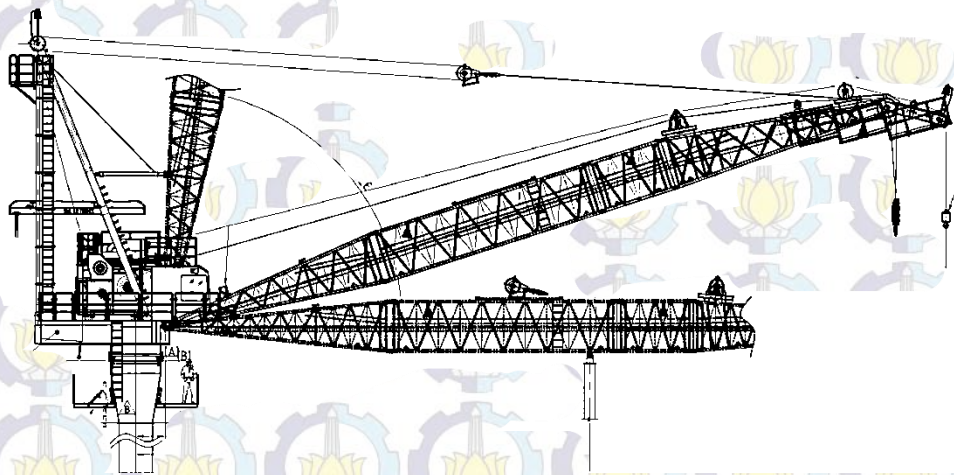


Gambar 1.1 FSO (*Floating Storage and Offloading System*) Arco Ardjuna

(Sumber: <http://4bp.blogspot.com>)

Pada *floating structure* dibutuhkan adanya *crane* yang akan melayani logistik dan sistem pelayanan barang yang ada di atas kapal. Secara umum *crane* didefinisikan sebagai mesin pengangkat yang dapat digunakan baik untuk

mengangkat maupun menurunkan benda, dan juga untuk memindahkan benda secara horizontal. *Crane* umumnya dioperasikan untuk kegiatan industri, seperti proses *loading* dan *unloading* muatan baik muatan logistik yang berbobot ringan maupun peralatan berat. Sehingga dalam pembuatan dan pengembangan kapasitas *crane* perlu mempertimbangkan faktor struktur *crane* dan faktor operasional yang mempengaruhi kapasitas total (Peurifoy, 1996). Karena setiap operasi pengangkatan yang dilakukan *crane* pada FSO (*floating struktur*) lebih berbahaya dibanding operasi yang sama pada *fixed offshore structure* (Langen, 2003).

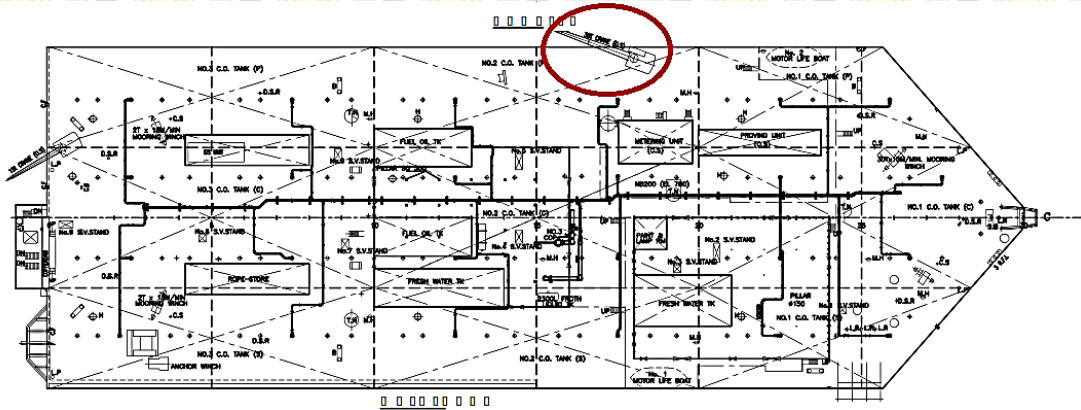


Gambar 1.2 Konstruksi bow crane pada FSO Arco Ardjuna
(Sumber: PT. Citra Mas, 2015)

Crane memiliki salah satu bagian struktur yang penting, yaitu *crane pedestal*. *Crane pedestal* adalah sebuah sub-struktur pendukung yang di atasnya terdapat bagian struktur *crane* yang dapat berputar dan menjulang tinggi, berfungsi sebagai dasar konstruksi untuk menyangga struktur yang ada di atasnya.

Permasalahan yang muncul pada FSO ini adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur *crane* mengalami kegagalan akibat tegangan maksimum yang terjadi pada *crane*. Sehingga perlu diketahui faktor operasional yang mempengaruhi kapasitas total pada *crane* dan mempertimbangkan faktor struktur *crane* dalam pembuatan dan pengembangan kapasitas *crane*. Dari hal

tersebut dapat diketahui beban maksimum yang dapat diterima *crane* sehingga dapat dianalisis pengaruhnya terhadap konstruksi *crane* pedestal dan dianggap aman saat beroperasi.



Gambar 1.3 Lokasi bow crane pada FSO Arco Ardjuna

(Sumber: PT. Citra Mas, 2015)

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis kekuatan konstruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna. Dimana saat ini FSO Arco Ardjuna beroperasi di ladang minyak Arjuna, 83 km dari pantai Cilamaya, Karawang, Jawa Barat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besar perilaku gerak yang terjadi pada FSO dan SPM akibat beban gelombang pada saat *free floating* dan tertambat?
2. Berapa nilai total kekuatan memanjang FSO Arco Ardjuna?
3. Berapa besar tegangan maksimum yang diterima struktur *crane pedestal* dan *hull construction* dibawah *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, dapat diambil suatu tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu:

1. Menghitung perilaku gerak yang terjadi pada FSO dan SPM akibat beban gelombang pada saat *free floating* dan saat tertambat.
2. Menghitung nilai total kekuatan memanjang FSO Arco Ardjuna.
3. Menghitung berapa besar tegangan lokal maksimum yang diterima struktur *crane pedestal* dan *hull construction* dibawah *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna pada saat tertambat.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilaksanakan.

1. Dapat mengetahui cara menghitung besar pergerakan FSO dan SPM pada saat *free floating* dan tertambat.
2. Dapat mengetahui beban siklis dan beban operasional *crane* terhadap kekuatan konstruksi dari *crane pedestal*.
3. Hasil analisis dan perhitungan dapat dijadikan dasar dalam merancang *crane pedestal* dengan mempertimbangkan beban-beban yang berpengaruh.
4. Hasil perhitungan dapat dijadikan dasar dalam melakukan inspeksi atau *assessment* kekuatan struktur *crane pedestal*.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar, sehingga batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini merupakan studi kasus pada FSO Arco Ardjuna milik Pertamina.
2. *Heading* pembebanan pada *heading angle* 0° , 45° , 90° , dan 180°
3. Perhitungan RAO *motion* saat *free floating* menggunakan *software* Ansys Aqwa
4. Skema kondisi yang digunakan untuk perhitungan RAO adalah RAO kondisi *full load* dan *light load heading* 0° , RAO kondisi *full load* dan *light*

load heading 45°, RAO kondisi *full load* dan *light load heading 90°*, RAO kondisi *full load* dan *light load heading 180°*.

5. Beban yang ditinjau adalah beban inersia, angin dan axial serta beban operasi *crane*.
6. Gelombang dianggap sebagai gelombang reguler.
7. *Longitudinal bending moment* diperhitungkan pada *regular wave*.
8. Dalam perhitungan kekuatan memanjang, muatan yang diperhitungkan adalah kondisi muatan penuh (*full load*) dan muatan kosong (*light load*).
9. Pemodelan *crane pedestal* dilakukan sebatas sambungan *crane pedestal* yang menempel *deck* dengan sebagian *hull* FSO Arco Ardjuna.
10. Gerakan dan nilai defleksi yang terjadi dari *crane boom* dan pedestal pada saat operasi diabaikan dan hanya ditinjau beban yang diangkat oleh *crane* saja.
11. Beban yang bekerja pada *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna dianggap beban statis.
12. Pemodelan global dengan teknik sub modeling dan bentuk FSO dianggap simetris.
13. Jenis pengelasan pada sambungan *pedestal* dan *deck* diabaikan dan diasumsikan tanpa ada cacat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulisan tugas akhir permasalahan, yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang dapat diambil serta batasan yang diberlakukan dalam penyusunan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, yaitu hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan dan *codes* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

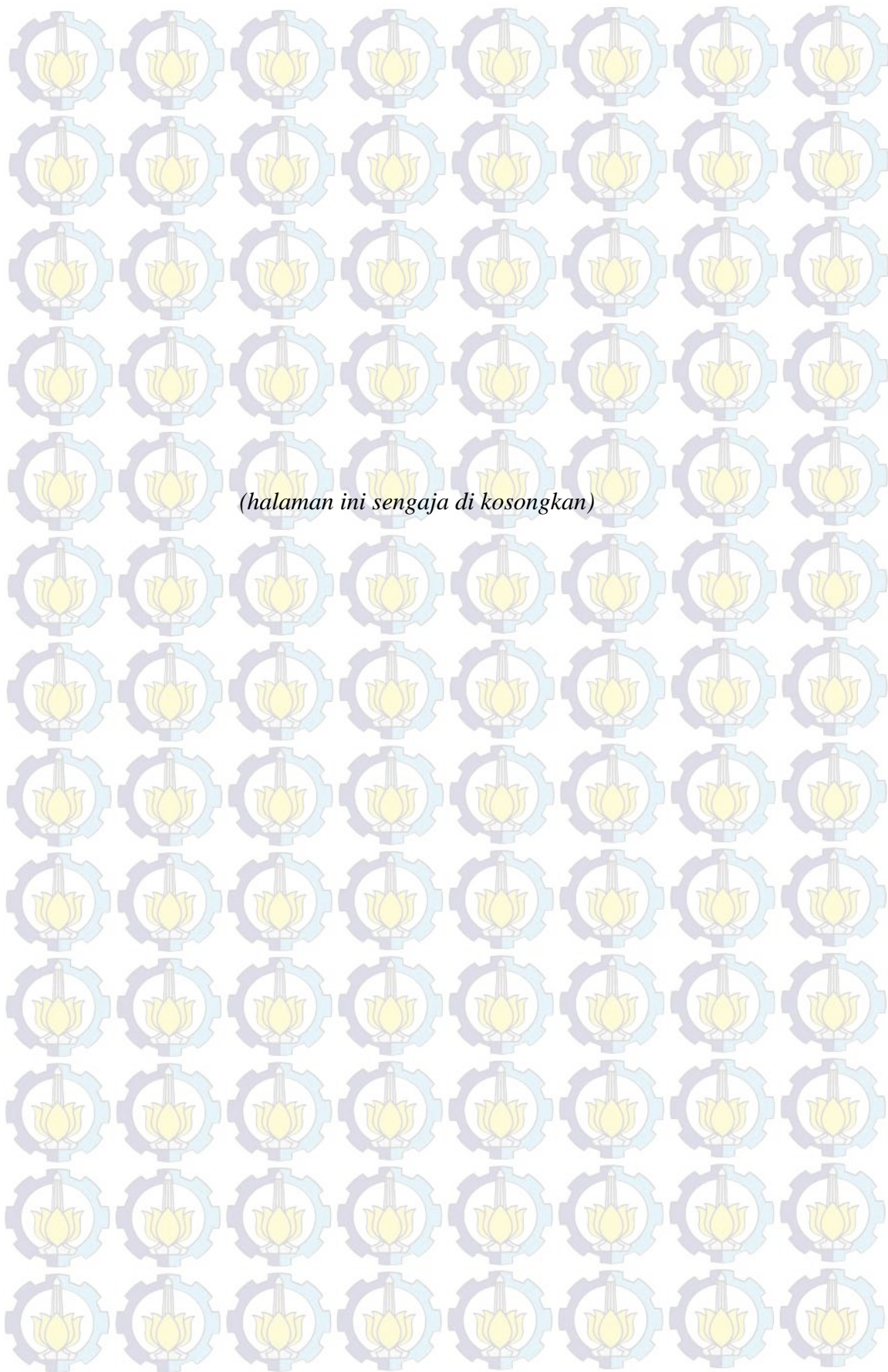
Pada bab ini akan dibahas mengenai langkah pengerjaan yang dilakukan, yaitu meliputi study literatur, pengumpulan data, penentuan formulasi, perancangan konstruksi *crane pedestal*, perhitungan RAO, perhitungan kekuatan memanjang FSO serta tegangan lokal maksimum yang terjadi pada *crane pedestal*.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas permodelan FSO dan SPM pada saat *free floating* dengan menggunakan *software* Maxsurf untuk mengetahui hidrostatik struktur, menggunakan *software* Ansys Aqwa pada analisis gerakan FSO dan SPM saat tertambat untuk mengetahui RAO struktur. Kemudian dilakukan perhitungan kekuatan memanjang FSO Arco Ardjuna.. Selanjutnya dilakukan permodelan pada *software* Auto CAD 3-D untuk konstruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna. Selanjutnya pemodelan pada Ansys Mechanical untuk analisis tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna. Selain hal tersebut, juga dilakukan pembahasan analisis hasil permodelan yang telah dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan metode *Finite Element Method* (*von misses stress*) sesuai dengan code ABS ($\sigma_{\max} < \sigma_{\text{ijin}}$)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya diberikan saran sebagai bahan pertimbangan tindak lanjut terhadap penelitian dengan permasalahan terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam merancang bangunan lepas pantai pertimbangan penting yang digunakan adalah perilaku hidrodinamis, kemampuan mobilitas, serta *reliability* dalam pengoperasian. Anjungan terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan tipe ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai. Untuk anjungan tipe ini, yang utama adalah mobilitas dan kemampuan mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut (Djarmiko, 2012).

Bangunan lepas pantai sering mengalami beban yang sifatnya berulang (siklis) yang menyebabkan berkurangnya kekuatan struktur. Seperti penelitian dari (Ayyub dan Gilberto, 2000), yang menggunakan *Motor Storage Tanker* (MST) Schichallion sebagai objek, dimana pada bagian haluan (*bow*) MST rentan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh gelombang maksimum. Struktur MST yang sangat rentan terhadap beban siklis memberikan pengaruh terhadap keberadaan struktur lainnya yang ada di dalam MST, seperti *crane*, *flare boom*, *separator*, dan lain-lain.

Sehingga perlu adanya analisis lebih detail terkait permasalahan beban siklis dan gelombang maksimum pada bangunan lepas pantai. Hal ini perlu untuk mengantisipasi adanya kerusakan yang ditimbulkan akibat beban siklis dan beban gelombang maksimum serta mitigasi untuk mengevakuasi personel agar tidak jatuh korban jiwa.

Ada beberapa tujuan pokok dalam analisa pengaruh beban maksimum yang mengenai struktur FSO ini, yaitu menentukan besar kekuatan memanjang kapal dan menghitung tegangan maksimum yang mengenai struktur lain pada FSO, dalam kasus ini adalah *crane pedestal*. Kemudian dari beberapa analisis

tersebut, didapatkan hasil yang nantinya dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan inspeksi atau *reassessment* kekuatan struktur *crane pedestal* dan menentukan beban siklis dan beban operasional *crane* terhadap kekuatan konstruksi dari *crane pedestal*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 FSO (*Floating Storage and Offloading System*)

FSO (*Floating Storage and Offloading System*) merupakan salah satu jenis dari *Storage Tanker*. Berdasarkan fungsinya, FSO diartikan sebagai struktur terapung yang berfungsi sebagai penyimpanan dan penyalur minyak dan gas bumi tanpa dilengkapi dengan fasilitas pemrosesan. Didalam *OCIMF, Chapter Tandem Mooring Offloading Guidelines for CTs at F(P)SO Facilities*, FSO dan FPSO memiliki fungsi yang sama, akan tetapi minyak bumi atau gas tidak diproses di kapal. Jadi, FSO dapat didefinisikan sebagai suatu sistem terapung yang beroperasi untuk :

- Menerima hasil proses *crude oil* atau gas dari fasilitas pemrosesan eksternal,
- Menyimpan *crude oil* yang telah diproses,
- Menyalurkan *crude oil* atau gas ke *shuttle tanker*.

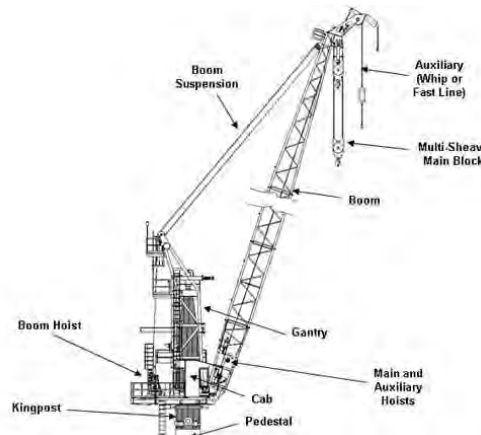
Saat ini kebutuhan akan FSO untuk melayani kebutuhan di wilayah *Offshore* semakin meningkat, maka dari itu, pengadaannya sudah mulai dilakukan baik dengan membangun kapal baru (*new-build*) atau melakukan konversi terhadap kapal-kapal bekas. Kelebihan dan kekurangan baik menggunakan bangunan baru ataupun konversi kapal bekas diantaranya biaya dan waktu produksi, desain dan konstruksi kapal, serta penentuan umur lelah kapal. Pembuatan FSO dengan membuat bangunan kapal baru (*new-build*) akan menguntungkan jika digunakan dalam jangka waktu operasional lebih dari 15 tahun. Namun, jika FSO didesain untuk jangka waktu operasional kurang dari 15 tahun, maka pengadaan FSO sebaiknya dilakukan dengan mengonversi kapal bekas, seperti kapal tanker yang memiliki bentuk lambung yang sama dengan kapal-kapal yang digunakan sebagai FSO.

Terdapat beberapa perbedaan apabila menggunakan Motor Tanker sebagai FSO. Pada umumnya Motor Tanker melakukan bongkar muat pada kondisi air tenang di pelabuhan, sedangkan FSO selalu melakukan bongkar muat di lepas pantai yang kondisinya selalu terkena beban lingkungan yang signifikan, yaitu beban angin dan gelombang. Untuk selanjutnya beban gelombang tersebut akan menjadi beban yang mendominasi pada FSO dan menjadi beban siklis karena sifatnya berulang. Karena sifat FSO yang diam di tempat dan tidak berlayar, maka jumlah beban siklis yang diterima oleh FSO lebih besar daripada jumlah beban siklis yang diterima oleh Motor Tanker.

2.2.2 Crane

Crane adalah jenis mesin yang umumnya dilengkapi dengan *hoist*, *wire rope* atau rantai, yang dapat digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material secara horizontal. Hal ini terutama digunakan untuk mengangkat hal-hal yang berat dan mengangkut material/ benda ke tempat lain. *Cranes* biasanya digunakan dalam industri transportasi untuk bongkar muat barang, dalam industri konstruksi untuk pergerakan material dan di industri manufaktur untuk perakitan alat berat. Pada FSO, *crane* dibutuhkan untuk membantu kinerja FSO.

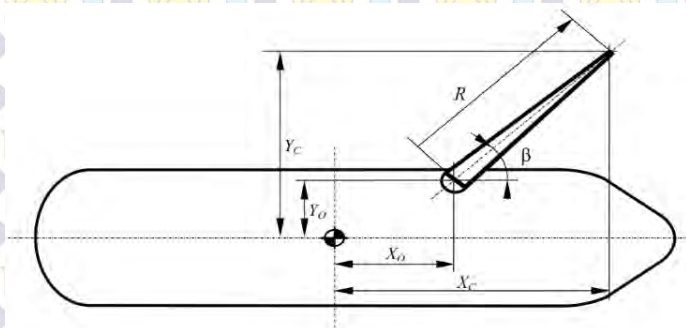
Dalam pembuatan dan pengembangan kapasitas *crane*, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, seperti faktor struktur pada *crane* dan faktor operasional yang mempengaruhi kapasitas total dari *crane* tersebut. Operasi pengangkatan pada *crane* pada FSO lebih berbahaya dibandingkan operasi yang sama pada *fixed offshore structure*. Disaat kondisi lingkungan yang berbahaya, *crane* pada FSO mendapatkan tambahan beban dinamis yaitu beban ayunan (*swing*).



Gambar 2.1 Crane

(Sumber : <http://www.seatrax.com/Cranebasics.html>)

Selain itu, *boom tip crane* pada FSO akan mengalami gerakan akibat pengaruh dari gelombang, baik ke arah vertikal maupun horizontal. Besarnya gerakan (*motion*) sangat bergantung dari *seastate*, arah datang gelombang dan posisi dari *boom tip* yang juga bergantung pada posisi *crane* terhadap *centre of gravity* (COG) dan jari-jari (R) serta sudut (β) dari *boom crane*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.2 Posisi horizontal dari Boom Tip Crane

(Sumber: Langen dan Than, 1996)

2.2.2.1 Crane pedestal

Crane pedestal adalah sebuah substruktur pendukung yang di atasnya terdapat bagian struktur *crane* yang dapat berputar dan menjulang tinggi, dan berfungsi sebagai dasar konstruksi untuk menyangga struktur yang ada di atasnya. *Crane pedestal* merupakan salah satu struktur yang ada pada FSO yang harus diperhitungkan kekuatannya terhadap pengaruh beban. Beban yang mengenai *crane* cukup signifikan, yang secara umum dapat

diklarifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban statis adalah berat dari *crane* itu sendiri, sedangkan beban dinamis yaitu beban operasional dan beban lingkungan.

Di sini FSO Arco Ardjuna memiliki dua buah *crane* yang terletak di bagian haluan (*bow*) dan samping kapal. *Pedestal crane* yang terdapat pada kapal merupakan *pedestal crane* tipe C (API RP 2C, 2004) yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu *crane coloumn* yang berada diatas *main deck* dan *crane reinforcement* yang menjadi satu dengan konstruksi kapal.

2.2.3 Teori Gerak Kapal

Pada kapal terdapat tiga jenis gerakan, yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* yang merupakan gerakan yang murni dari kapal. Tiga jenis gerakan tersebut dipengaruhi oleh *restoring force* (gaya pengembali) atau momen ketika struktur terapung (dalam bentuk kapal) berada pada posisi setimbangnya. Gerakan yang lain (*surging*, *swaying*, dan *yawing*) tidak dapat mengembalikan kapal tersebut pada posisi setimbang, selain itu itu tidak adanya pengaruh *exciting force* (gaya luar) yang menyebabkan aktivitas gangguan dari arah kebalikannya (Bhattacharyya, 1978).

Gerakan osilasi pada kapal memiliki enam derajat kebebasan yaitu *surging*, *swaying*, *heaving*, *rolling*, *pitching*, dan *yawing*. Untuk gerakan *surging*, *swaying*, dan *yawing*, strukturnya tidak kembali pada posisi setimbangnya. Selain itu tidak adanya pengaruh *exciting force* (gaya luar) yang menyebabkan aktivitas gangguan dari arah kebalikannya (Bhattacharyya, 1978). Enam derajat kebebasan tersebut dapat dibedakan menjadi dua macam mode gerak, yaitu translasional dan rotasional:

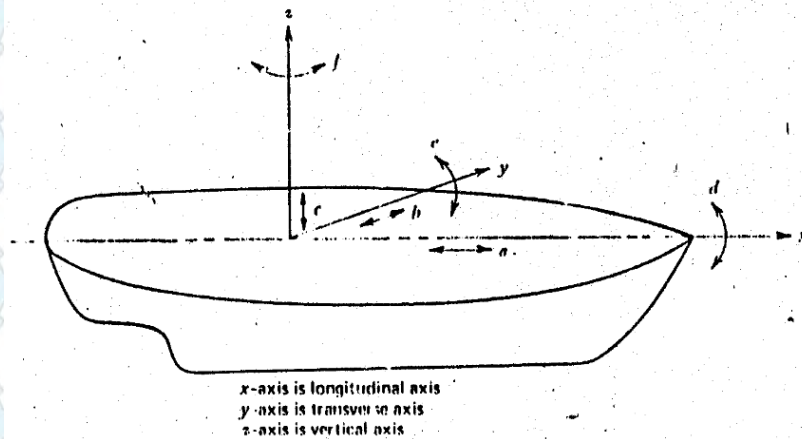
1. Mode gerak translasional:

- a. *Surging* : Gerak osilasi translasional pada sumbu-x
- b. *Swaying* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-y
- c. *Heaving* : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-z

2. Mode gerak rotasional:

- a. *Rolling* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- b. *Pitching* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- c. *Yawing* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

Pengertian gerakan *floating structure* dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan melalui gambar di bawah ini. Dengan menggunakan konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z adalah masing-masing gerakan *surge*, *sway* dan *heave*, sedangkan gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll*, *pitch* dan *yaw*.



Gambar 2.3 *Six degree of freedom* pada Bangunan Apung

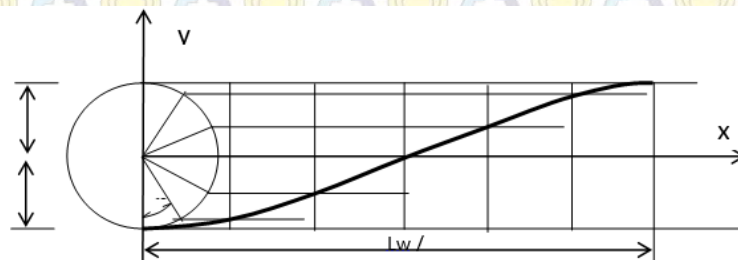
(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

Aturan persamaan gerak untuk suatu bangunan apung dan beban *crane* adalah nonlinier seperti parametrik, jika variasi tegangan diperhitungkan. Ada kondisi dimana amplitudo osilasi besar pada beban yang berkaitan dengan eksitasi parametrik. Efek parametrik eksitasi beban *crane* selama operasi *lifting* lebih signifikan untuk laut yang *random* dibandingkan dengan laut regular tetapi masih mempengaruhi operabilitas bangunan apung berdasarkan gerakan beban *crane*. Efek parametrik dari eksitasi adalah meningkatkan gerakan beban *crane* pada *seastate* (Witz, 1995). Bangunan apung yang dimaksud dalam permasalahan ini adalah FSO Arco Ardjuna.

Pada kondisi setimbangan sebuah bangunan apung akan mencapai posisi setimbang diantara gaya apung dan gravitasi. Ketika gaya apung yang dihasilkan lebih besar daripada berat struktur, maka bangunan apung tersebut akan bergerak secara terus-menerus sampai struktur tersebut mencapai posisi kesetimbangannya. Dalam frekuensi tertentu, berat struktur lebih besar daripada gaya apung, yang berpengaruh terhadap gerakan struktur. Ketika kapal dalam proses mencapai posisi kesetimbangan, kecepatan kapal akan berkurang sampai kesetimbangan dicapai. Pada kondisi ini, gaya apung (*buoyancy*) akan sama dengan berat struktur karena momentum bangunan apung akan bergerak lebih jauh dari posisi semula. Gerakan bangunan apung akan tidak terbatas disaat tidak ada gaya redaman (*damping force*), yang selalu bekerja berlawanan dengan arah gerakan.

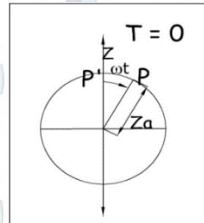
2.2.4 Gelombang Sinusoidal

Pada pergerakan *floating structure* tidak bisa terlepas dari pengaruh gelombang. Pada kenyataannya gelombang yang terjadi pada FSO Arco Ardjuna adalah gelombang acak, dan untuk memperhitungkan gelombang yang demikian sangat sulit. Maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui gerakan harmonis. Pada pengerjaan tugas akhir ini, batasan masalah yang digunakan pada analisa FSO Arco Ardjuna ini adalah gelombang dianggap sebagai gelombang reguler, yaitu gelombang sinusoidal. Pada gelombang tersebut dapat diproyeksikan menjadi sebuah lingkaran yang tiap titik pada garis berpotongan terhadap titik pada diameter lingkaran. Lebih jelasnya dapat dilihat dari ilustrasi gambar dibawah ini.



Gambar 2.4. Gelombang sinusoidal
(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan bahwa proyeksi dari gelombang adalah sebuah lingkaran yang memiliki sudut yaitu ω dan pada tiap gelombang pada fungsi t dengan asumsi titik p sebagai vektor dari lingkaran. Sehingga lingkaran ini dapat disederhanakan menjadi gambar di bawah ini.



Gambar 2.5 Vektor dari *simple harmonic motion*

(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

Penjelasan gambar diatas memperlihatkan harga dari titik pusat O terhadap P' :

$$(\overline{OP'}) = z = z_a \cos \omega t \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Kecepatan dari } P = v = \dot{z} = \frac{dz}{dt} = -z_a \omega^2 \sin \omega t \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Percepatan dari } P = a = \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2} = -z_a \omega^2 \cos \omega t \dots\dots\dots (3)$$

Periode dari gerakan adalah waktu yang dibutuhkan dari P' untuk mencapai dari titik z dan bergerak ke z lagi dalam satu kejadian, dapat di rumuskan sebagai:

$$T = \frac{2\pi z_a}{\omega z_a} = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{dengan frekuensi karakteristiknya } f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{sehingga frekuensi sudutnya adalah } \omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots (6)$$

Dalam buku *Dynamic of Marine Vehicles* dijelaskan bahwa kecepatan, panjang gelombang, dan periode gelombang di perhitungkan :

$$V_w = \frac{gL_w}{2\pi} \tan h \frac{2\pi h}{L_w} \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

V_w = kecepatan gelombang (m/s)

g = gravitasi (m/s^2)

L_w = panjang gelombang (m)

h = kedalaman (m)

karena nilai dari perbandingan $\frac{h}{L_w} \gg 0$

$$\tanh \frac{2\pi h}{L_w} \rightarrow \frac{2\pi h}{L_w} = kh \quad \dots\dots\dots (8)$$

disubstitusikan :

$$V_w = \sqrt{gh}$$

$$T_w = \sqrt{\frac{2\pi L_w}{g}}$$

dan

$$\omega_w = \frac{2\pi}{T_w} \quad \dots\dots\dots (9)$$

dengan:

T_w = Periode gelombang (s)

ω_w = Frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.5 Heading (Arah) Kapal terhadap Arah Gelombang

Selain faktor gelombang, ada juga faktor gelombang papasan, yaitu ketika gelombang berpapasan dengan kapal. Dalam ilustrasinya di perlihatkan sebagai berikut :

$$T_\theta = \frac{L_w}{V_w - V \cos \mu} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$V_w = \omega_\theta \left(1 - \frac{V}{V_w} \cos \mu\right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

T_θ = Periode *encountering* (s)

V_w = Kecepatan gelombang (m/s)

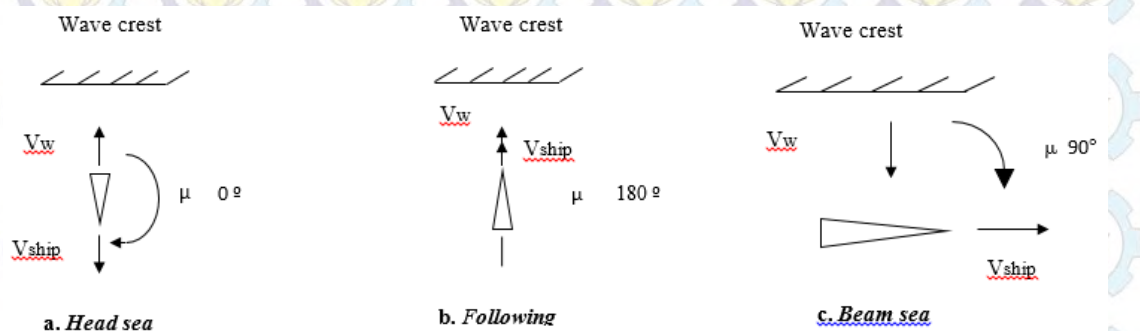
V = Kecepatan kapal (knot)

μ = Sudut datang gelombang

ω_θ = Frekuensi *encountering* (rad/sec)

L_w = Panjang gelombang (m)

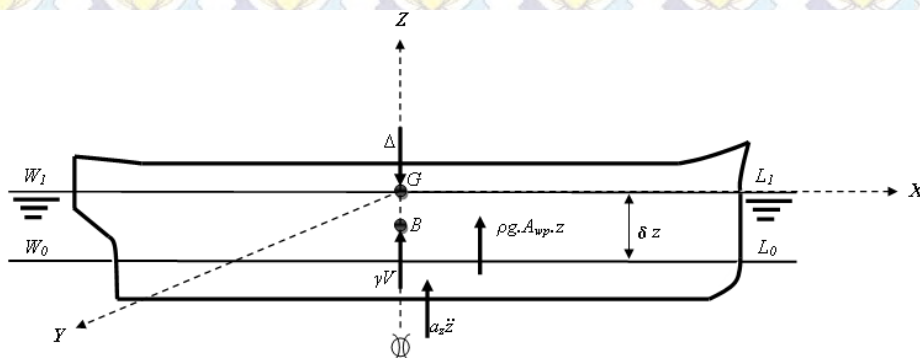
Sebagai gambaran arah kapal terhadap arah gelombang untuk kondisi *head sea*, *following sea*, *beam sea* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.6 Definisi arah datang gelombang terhadap *heading* kapal
(Sumber: Bhattacharyya, 1978)

2.2.6 Gerakan *Heave Murni (Uncouple Heaving Motion)*

Pada *heaving* gaya ke bawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak vertikal ke atas, ketika posisi kapal telah setimbang kapal akan tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. Berikut adalah ilustrasi mengenai gerakan *heaving* pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan *heaving*
(Sumber: Murtedjo 1999)

Dengan keterangan gambar sebagai berikut:

- Δ : *Displacement* kapal
- G : Titik tangkap gaya berat (Titik berat)

B : Titik tangkap gaya tekan keatas (Titik *bouyancy*)

γV : Gaya tekan keatas

$W_0 L_0$: *Water line* keadaan awal

$W_1 L_1$: *Water line* keadaan *heave*

$a_z \ddot{z}$: Tambahan gaya tekan keatas karena *added mass*

δ_z : Besar jarak simpangan *heave*

Maka dapat dituliskan persamaan umum pada kapal kondisi *heaving* adalah :

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

$a\ddot{z}$: *Inertial force*

$b\dot{z}$: *Damping force*

cz : *Restoring force*

$F_0 \cos \omega_e t$: *Exciting force*

Terdapat empat elemen penting dalam gerakan *heave*, antara lain:

1. *Inertial force* ($a\ddot{z}$)

Merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang terjadi, gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu kapal (Bhattacharyya, 1978).

$$a \frac{d^2 z}{dt^2} = \text{massa kapal} + \text{massa tambah}$$

$$a \frac{d^2 z}{dt^2} = M \frac{d^2 z}{dt^2} + a_z \frac{d^2 z}{dt^2} \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

M : Massa dari kapal

a_z : Massa tambah

2. *Damping force* ($b\dot{z}$)

Damping force selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitude gerakan.

$$F_b = -b \frac{dz}{dt} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana b adalah koefisien untuk gaya damping kondisi *heaving*. Normalnya koefisien *damping* ini bergantung pada faktor:

- a. Tipe dari gerakan osilasi
- b. Frekuensi *encountering*
- c. Bentuk kapal

3. *Restoring force (cz)*

Restoring force untuk *heaving* diberikan sebagai tambahan gaya *bouyancy* kapal ketika di bawah permukaan air. Sehingga *restoring force* diberikan sebagai jumlah *displacement* air atau berat spesifik tambahan pada volume tercelup.

$$cz = \rho \cdot g \cdot A_{wp} \cdot z$$

$$cz = \rho \cdot g \cdot L \cdot B \cdot C_{wp} \cdot z \dots \dots \dots (15)$$

dengan:

A_{wp} : *Water plane area* (m²)

z : Simpangan gerak *heaving* (m)

C_{wp} : Koefisien *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

4. *Exciting force (F)*

Gaya eksitasi pada *heaving* adalah pengintegrasian dari penambahan *buoyancy* karena gelombang melewati sepanjang kapal sehingga dapat dirumuskan:

$$F = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (16)$$

dengan:

F_o : Amplitudo gaya eksitasi (m)

ω_e : Frekuensi gelombang *encountering* (Rad/sec)

2.2.7 Gerakan Sway Murni (*Uncouple Swaying Motion*)

Sway merupakan gerak translasi kapal dengan sumbu Y sebagai pusat gerak.

Persamaan umum kapal pada kondisi *swaying* adalah:

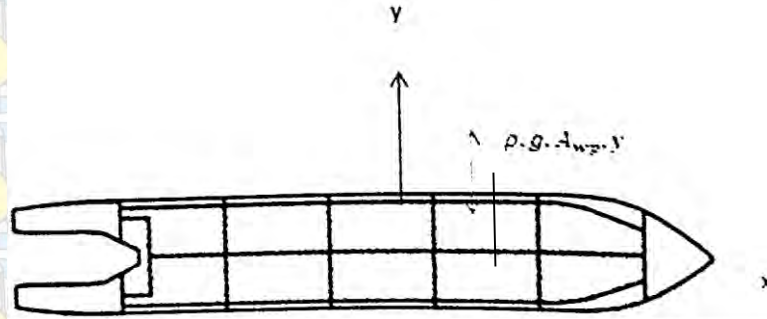
$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (17)$$

dengan:

$a\ddot{y}$: *Inertial force*

$b\dot{y}$: *Damping force*

cy : Restoring force
 $F_o \cos \omega_e t$: Exciting force



Gambar 2.8 Ilustrasi Gerakan *Swaying*
 (Sumber: Murtedjo 1999)

Terdapat empat elemen penting dalam gerakan *sway*, antara lain:

1. *Inertial force* ($a\ddot{y}$)

Merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang terjadi, gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu kapal (Bhattacharyya, 1978).

$$a \frac{d^2 y}{dt^2} = \text{massa kapal} + \text{massa tambah}$$

$$a \frac{d^2 y}{dt^2} = M \frac{d^2 y}{dt^2} + a_y \frac{d^2 y}{dt^2} \dots \dots \dots (18)$$

dengan:

M : Massa dari kapal

a_y : Massa tambah

2. *Damping force* ($b\dot{y}$)

Damping force selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitude gerakan.

$$F_b = -b \frac{dy}{dt} = b \cdot \dot{y} \dots \dots \dots (19)$$

Dimana b adalah koefisien untuk gaya damping kondisi *swaying*. Normalnya koefisien *damping* ini bergantung pada faktor:

- a. Tipe dari gerakan osilasi
- b. Frekuensi *encountering*
- c. Bentuk kapal

3. *Restoring force* (cy)

Restoring force untuk *swaying* diberikan sebagai tambahan gaya *bouyancy* kapal ketika di bawah permukaan air. Sehingga *restoring force* diberikan sebagai jumlah *displacement* air atau berat spesifik tambahan pada volume tercelup.

$$cz = \rho \cdot g \cdot A_{wp} \cdot y$$

$$cz = \rho \cdot g \cdot L \cdot B \cdot C_{wp} \cdot y \dots \dots \dots (20)$$

dengan:

- A_{wp} : *Water plane area* (m²)
- y : Simpangan gerak *swaying* (m)
- C_{wp} : Koefisien *water plane area*
- ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)
- g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

4. *Exciting force (F)*

Gaya eksitasi pada *heaving* adalah pengintegrasian dari penambahan *buoyancy* karena gelombang melewati sepanjang kapal sehingga dapat dirumuskan:

$$F = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (21)$$

dengan:

- F_o : Amplitudo gaya eksitasi (m)
- ω_e : Frekuensi gelombang *encountering* (Rad/sec)

2.2.8 Gerakan *Surge Murni (Uncouple Surging Motion)*

Surge merupakan gerak translasi kapal dengan sumbu X sebagai pusat gerak.

Persamaan umum pada kapal kondisi *surging* adalah:

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (22)$$

dengan:

- $a\ddot{x}$: *Inertial force*
- $b\dot{x}$: *Damping force*
- cx : *Restoring force*
- $F_o \cos \omega_e t$: *Exciting force*

Terdapat empat elemen penting dalam gerakan *surge*, antara lain:

1. *Inertial force* ($a\ddot{x}$)

Merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang terjadi, gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu kapal (Bhattacharyya, 1978).

$$a \frac{d^2x}{dt^2} = \text{massa kapal} + \text{massa tambah}$$

$$a \frac{d^2x}{dt^2} = M \frac{d^2x}{dt^2} + a_x \frac{d^2x}{dt^2} \dots \dots \dots (23)$$

dengan:

M : Massa dari kapal

a_x : Massa tambah

2. *Damping force* ($b\dot{x}$)

Damping force selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitude gerakan.

$$F_b = -b \frac{dx}{dt} = b \cdot \dot{x} \dots \dots \dots (24)$$

Dimana b adalah koefisien untuk gaya damping kondisi surging. Normalnya koefisien damping ini bergantung pada faktor:

- a. Tipe dari gerakan osilasi
- b. Frekuensi *encountering*
- c. Bentuk kapal

3. *Restoring force* (cx)

Restoring force untuk *surging* diberikan sebagai tambahan gaya *bouyancy* kapal ketika di bawah permukaan air. Sehingga *restoring force* diberikan sebagai jumlah *displacement* air atau berat spesifik tambahan pada volume tercelup.

$$cz = \rho \cdot g \cdot A_{wp} \cdot x$$

$$cz = \rho \cdot g \cdot L \cdot B \cdot C_{wp} \cdot x \dots \dots \dots (25)$$

dengan:

A_{wp} : *Water plane area* (m^2)

x : Simpangan gerak *surging* (m)

C_{wp} : Koefisien *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/m^3)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

4. *Exciting force (F)*

Gaya eksitasi pada *heaving* adalah pengintegrasian dari penambahan *buoyancy* karena gelombang melewati sepanjang kapal sehingga dapat dirumuskan:

$$F = F_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (26)$$

dengan:

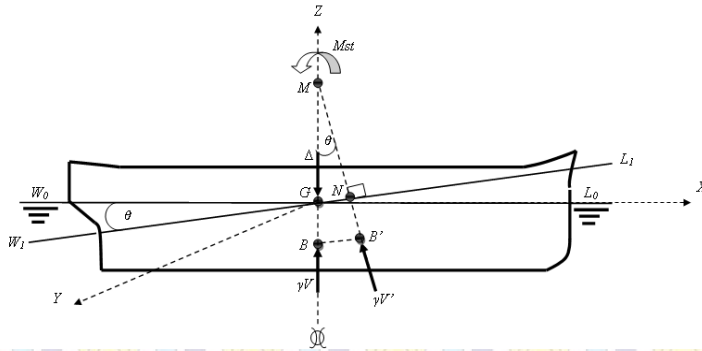
F_o : Amplitudo gaya eksitasi (m)

ω_e : Frekuensi gelombang *encountering* (Rad/sec)

2.2.9 Gerakan *Pitch Murni (Uncouple Pitching Motion)*

Pada penyelesaian tuhas akhir ini, kondisi selain *heaving* yang perlu diperhitungkan adalah *pitching*. Dimana akibat dari enam derajat kebebasan dari gerak kapal. Berbeda halnya dengan *heaving* yang bergerak secara translasional. Namun kondisi *pitching* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat ditetapkan adalah hukum Euler.

Konstruksi benda apung dapat mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu transversal (x) maupun arah sumbu longitudinal (y) apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau pada benda apung tersebut dikenakan suatu kecepatan awal sehingga bergerak menjauh dari posisi keseimbangannya. Dalam berbagai analisis perhitungan gerakan benda apung mengalami gerakan angular seperti benda apung yang mengalami gerakan *rolling* dan *pitching*, maka perhitungan dan analisa terhadap besarnya gaya momen memegang peranan yang lebih penting dibandingkan dengan perhitungan besarnya gaya itu sendiri.



Gambar 2.9 Ilustrasi kondisi *pitching* pada saat *still water*
(Sumber: Murtedjo 1999)

Pitching merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap *initial velocity* dari kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (27)$$

dengan:

- M_o = amplitudo momen eksitasi (m)
- ω_e = frekuensi gelombang encountering (rad/sec)
- $a\ddot{\theta}$ = Inertial Moment
- $b\dot{\theta}$ = Damping Moment
- $c\theta$ = Restoring Moment
- $M_o \cos \omega_e t$ = Exciting Moment

Karena merupakan gerak rotasional pada gerakan akibat *pitching* terdapat empat jenis momen yang bekerja, yaitu:

1. *Inertial moment* ($a, \ddot{\theta}$)

a merupakan *moment inertia virtual mass* dari $\frac{d^2\theta}{dt^2}$, dengan $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ adalah percepatan angular dari *pitching*, *moment inertia virtual mass* pada kondisi *pitching* adalah *moment inertia* kapal ditambah *moment inertia* massa tambah dari *pitching* (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{yy} + \delta I_{yy}$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{yy}^2 + \delta I_{yy} \dots \dots \dots (28)$$

dengan:

δI_{yy} : *Moment Inertia* massa tambah untuk gerakan *pitching*

k^2_{yy} : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi *pitching*

I_{yy} : *Moment inertia* massa kapal

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *midship section*. Secara pendekatan jari-jari girasinya *pitching* adalah:

$$k^2_{yy} = 0,24L \text{ to } 0,26L$$

2. *Damping moment* ($b, \dot{\theta}$)

Damping coefficient untuk *pitching* dapat dihitung dengan pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan di integrasikan sebanyak station sepanjang kapal.

3. *Restoring moment* (c, θ)

Restoring moment untuk *pitching* dapat dihitung dengan persamaan sederhana sebagai berikut

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \theta \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} x^2 y(x) dx$$

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \theta \cdot I_y \dots \dots \dots (29)$$

Jari-jari metacenter memanjang $\overline{M.B_L} = \frac{I_y}{\nabla}$, sehingga

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \overline{M.B_L} \cdot \nabla \cdot \theta = \rho \cdot g \cdot \overline{M.G_L} \cdot \nabla \cdot \theta \quad (\text{sudut kecil})$$

$$c\theta = \Delta \cdot \overline{M.G_L} \cdot \theta \dots \dots \dots (30)$$

dengan:

c : *Restoring moment coefficient*

I_y : *Moment inersia* dari beban *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

∇ : *Volume displacement* (m³)

Δ : *Displacement* (Ton) = $\rho \cdot g \cdot \nabla$

$\overline{M.B_L}$: Jari-jari metacenter memanjang

$\overline{MG_L}$: Tinggi metacenter memanjang

4. *Exciting moment*

Exciting moment untuk pitching dikarenakan tidak seimbang momen akibat dari gelombang tranverse axis dari kapal. Pada waktu *heaving* *pitching moment* dapat dengan mudah di naikan, ini berarti distribusi tekanan hidrostatik dirumuskan:

$$M_\theta = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(31)$$

2.2.10 Gerakan *Roll Murni (Uncouple Rolling Motion)*

Kapal menjalani gerakan harmonis sederhana terhadap koordinat axis secara transversal maupun longitudinal. *Rolling* merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap *initial velocity* sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya.

Rumus umum dari persamaan gerak akibat rolling ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(32)$$

Dengan:

M_o = Amplitudo momen eksitasi (m)

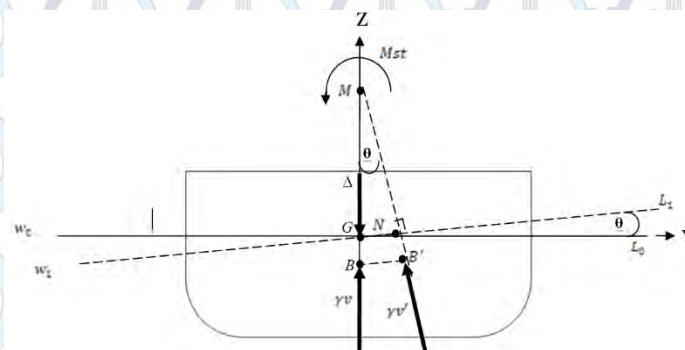
ω_e = Frekuensi gelombang encountering (rad/sec)

$a\ddot{\phi}$ = *Inertial moment*

$b\dot{\phi}$ = *Damping Moment*

$c\phi$ = *Restoring Moment*

$M_o \cos \omega_e t$ = *Exciting moment*



Gambar 2.10 Ilustrasi kondisi *rolling* kapal pada saat *still water*
(Sumber: Murtedjo 1999)

Karena merupakan gerak rotasional pada gerakan akibat *rolling* terdapat empat jenis momen yang bekerja, yaitu:

1. *Inertial moment* ($a, \ddot{\phi}$)

a merupakan *moment inertia virtual mass* dari $\frac{d^2\phi}{dt^2}$, dengan $\frac{d^2\phi}{dt^2}$ adalah percepatan angular dari *rolling*, *moment inertia virtual mass* pada kondisi *rolling* adalah *moment inertia* kapal ditambah *moment inertia* massa tambah dari *rolling* (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{xx} + \delta I_{xx}$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{xx}^2 + \delta I_{xx} \dots \dots \dots (33)$$

dengan:

δI_{xx} : *Moment Inertia* massa tambah untuk gerakan *rolling*

k_{xx}^2 : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi *rolling*

I_{xx} : *Moment inertia* massa kapal

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *midship section*. Secara pendekatan jari-jari girasinya *rolling* adalah:

$$k_{xx}^2 = 0,33xB$$

2. *Damping moment* ($b, \dot{\phi}$)

Damping coefficient adalah koefisien redaman dan $b \frac{d\phi}{dt}$ merupakan momen redaman. *Damping coefficient* untuk *rolling* dapat dihitung dengan pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan di integrasikan sebanyak station di kapal.

3. *Restoring moment* (c, ϕ)

Restoring moment untuk *rolling* dapat dihitung dengan persamaan sederhana sebagai berikut

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^2 x(y) dy$$

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \cdot I_x \dots \dots \dots (34)$$

Jari-jari metacenter melintang $\overline{M.B_T} = \frac{I_T}{\nabla}$, sehingga

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \overline{MB_T} \cdot \nabla \cdot \phi = \rho \cdot g \cdot \overline{MG_T} \cdot \nabla \cdot \phi$$

$$c\theta = \Delta \cdot \overline{MG_T} \cdot \phi \dots\dots\dots (35)$$

dengan:

c : *Restoring moment coefficient*

I_x : *Moment inersia dari beban water plane area*

ρ : *massa jenis air laut (1025 kg/ m³)*

g : *kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)*

∇ : *Volume displacement (m³)*

Δ : *Displacement (Ton) = $\rho \cdot g \cdot \nabla$*

$\overline{MB_T}$: *Jari-jari metacenter melintang*

$\overline{MG_T}$: *Tinggi metacenter melintang*

4. *Exciting moment*

Exciting moment untuk *rolling* dikarenakan tidak seimbang momen akibat dari gelombang tranverse axis dari kapal. *Rolling moment* dapat dengan mudah di naikan, ini berarti distribusi tekanan hidrostatik dirumuskan:

$$M_\theta = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots (36)$$

2.2.11 Gerakan Yaw Murni (*Uncouple Yawing Motion*)

Kapal menjalani gerakan harmonis sederhana terhadap koordinat axis secara transversal maupun longitudinal. Gerakan tersebut akan berpengaruh pada *initial velocity* dari kesetimbangan posisi, sehingga perlu untuk memperhitungkan momen dari gaya. Karena merupakan gerak rotasional, pada gerakan *yawing* (gerak rotasional kapal dengan sumbu Z) terdapat empat jenis momen yang bekerja

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots (37)$$

dengan:

M_o = *amplitudo momen eksitasi (m)*

ω_e = *frekuensi gelombang encountering (rad/sec)*

$a\ddot{\phi}$ = *Inertial Moment*

$b\dot{\phi}$ = *Damping Moment*

$c\phi$ = *Restoring Moment*

$M_o \cos \omega_e t$ = *Exciting Moment*

Berikut penjelasannya :

1. *Inertial moment (a, $\ddot{\phi}$)*

a merupakan *moment inertia virtual mass* dari $\frac{d^2\ddot{\phi}}{dt^2}$, dengan $\frac{d^2\ddot{\phi}}{dt^2}$ adalah percepatan angular dari yawing, *moment inertia virtual mass* pada kondisi yawing adalah *moment inertia* kapal ditambah *moment inertia* massa tambah dari yawing (Bhattacharyya, 1978).

$$a = I_{zz} + \delta I_{zz}$$

$$a = \frac{\Delta}{g} k_{zz}^2 + \delta I_{zz} \dots \dots \dots (38)$$

dengan:

δI_{zz} : *Moment Inertia* massa tambah untuk gerakan yawing

k_{zz}^2 : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi yawing

I_{zz} : *Moment inertia* massa kapal

Menurut Bhattacharyya diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* adalah sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi *vertical* tidak begitu berpengaruh dan bahwa CG dari kapal diasumsikan di *midship section*. Secara pendekatan jari-jari girasinya yawing adalah:

$$k_{zz}^2 = 0,24L \text{ to } 0,26L$$

2. *Damping moment (b, $\dot{\phi}$)*

Damping coefficient adalah koefisien redaman dan $b \frac{d\phi}{dt}$ merupakan momen redaman. *Damping coefficient* untuk yawing dapat dihitung dengan pendekatan *strip theory* yang ditentukan oleh tiap station dan di integrasikan sebanyak station di kapal.

3. *Restoring moment (c, ϕ)*

Restoring moment untuk yawing dapat dihitung dengan persamaan sederhana sebagai berikut

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y^2 x(y) dy$$

$$c\phi = \rho \cdot g \cdot \phi \cdot I_x \dots \dots \dots (39)$$

Jari-jari metacenter melintang $\overline{M.B_T} = \frac{I_T}{\nabla}$, sehingga

$$c\theta = \rho \cdot g \cdot \overline{MB_T} \cdot \nabla \cdot \phi = \rho \cdot g \cdot \overline{MG_T} \cdot \nabla \cdot \phi$$

$$c\theta = \Delta \cdot \overline{MG_T} \cdot \varphi \dots \dots \dots (40)$$

dengan:

c : Restoring moment coefficient

I_X : Moment inersia dari beban *water plane area*

ρ : massa jenis air laut (1025 kg/ m³)

g : kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)

∇ : Volume displacement (m³)

Δ : Displacement (Ton) = $\rho \cdot g \cdot \nabla$

$\overline{MB_T}$: Jari-jari metacenter melintang

$\overline{MG_T}$: Tinggi metacenter melintang

4. *Exciting moment*

Exciting moment untuk rolling dikarenakan tidak seimbang momen akibat dari gelombang tranverse axis dari kapal. *Rolling moment* dapat dengan mudah di naikan, ini berarti distribusi tekanan hidrostatik dirumuskan:

$$M_\theta = M_o \cos \omega_e t \dots \dots \dots (41)$$

2.2.12 Gerakan Couple Six Degree of Freedom

Karena bangunan apung yang ditinjau terdiri dari enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*), dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots \dots \dots (42)$$

dengan:

M_{jk} = komponen matriks massa kapal

A_{jk}, B_{jk} = matriks koefisien massa tambah dan redaman

C_{jk} = koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali

F_j = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

F_1, F_2 , dan F_3 adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway*, dan *heave*, sedangkan F_4, F_5 , dan F_6 adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

2.2.13 Respon Struktur

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *transfer function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. RAO disebut sebagai *transfer function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur. Bentuk umum persamaan RAO dalam fungsi frekuensi (Chakrabarti, 1987) adalah sebagai berikut:

$$Response(\omega) = (RAO) \cdot \eta(\omega) \dots \dots \dots (43)$$

dengan:

$$\eta(\omega) = \text{amplitudo gelombang (m)}$$

RAO merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur.

Menurut (Chakrabarti, 1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots \dots \dots (44)$$

dengan :

$$X_p(\omega) = \text{amplitudo struktur}$$

$$\eta(\omega) = \text{amplitudo gelombang}$$

2.2.14 Konsep Pembebanan

Dalam proses perancangan struktur apung lepas pantai (*floating offshore structure*), penentuan kemampuan kerja struktur oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Perancangan *floating offshore structure* terlebih dahulu. Beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan *floating offshore structure* adalah beban internal dan beban eksternal :

1. LWT

LWT (*lightweight*) adalah berat kapal kosong konstruksi kapal tersebut, berat permesinan dan berat peralatan. Dimana dalam tugas akhir ini berat

yang ditinjau untuk perhitungan motion adalah LWT dikarenakan kapal dengan berat kosong akan mengakibatkan kondisi ekstrem dalam pembebanan dinamis.

2. DWT

DWT (*deadweight*) adalah berat kapal dimana terdiri dari berat muatan, bahan bakar, pelumas, air tawar, perbekalan juga berat yang ditimbulkan oleh awak kapal tersebut.

3. Beban lingkungan (*environmental load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu struktur lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang digunakan dalam perancangan adalah beban angin dan gelombang.

Pada tugas akhir ini pembebanan difokuskan pada beban yang mengenai *crane*. *Crane* pada kondisi operasional terdapat dalam lingkungan dinamis, seperti pengangkatan (*lifting*), pengayunan (*swing*), dan arus udara serta variasi suhu. Namun, yang akan ditinjau pada tugas akhir ini adalah beban gelombang beban angin, dan beban operasi *crane*.

2.2.15 Beban Angin

Suatu struktur bangunan apung harus didesain agar dapat bertahan dari gas angin dengan kecepatan minimal 36 m/s pada saat kondisi operasi dan 51.5 m/s saat kondisi badai/*intach*, dan kecepatan angin 25.8 m/s untuk kondisi *damage*. Pengaruh gaya angin terhadap kekuatan global struktur tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan gaya gelombang. Pengaruh lokal gaya angin terhadap semua peralatan dan bagian struktur FSO harus dihitung demi keamanan.

Untuk menghitung kecepatan angin pada elevasi diatas 10 m dari permukaan air digunakan hukum *one-seventh power* (Dawson, 1983) yang dapat digunakan hingga kecepatan angin pada elevasi 600 ft (182.88 m). Persamaan tersebut :

$$V = V_o \left(\frac{y}{10} \right)^{\frac{1}{7}} \dots \dots \dots (45)$$

dengan :

V = kecepatan angin pada elevasi y (m/s)

V_o = kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s)

y = elevasi yang akan dihitung kecepatan anginnya (m)

Untuk perhitungan gaya angin yang mengenai struktur, dapat dicari dengan persamaan – persamaan berikut :

Berdasarkan ABS, 2001 :

$$F = \frac{1}{2} \rho C_s C_h A V^2 \dots \dots \dots (46)$$

dengan :

F = gaya angin (N)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3) = 1.226 kg/m^3

C_s = koefisien dari bentuk benda yang terkena angin

C_h = koefisien dari ketinggian benda

A = area/luasan yang terkena angin (m^2)

V = kecepatan angin (m/s)

Berdasarkan DNV, 2007 :

$$F = C q S \sin \alpha \dots \dots \dots (47)$$

dengan :

C = koefisien bentuk

q = tekanan angin

S = daerah proyeksi normal terhadap arah gaya

α = sudut antara arah angin dan sumbu permukaan

Nilai tekanan angin q dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q = \frac{1}{2} \rho a U_{Tz}^2 \dots \dots \dots (48)$$

dengan :

q = tekanan angin

ρa = massa jenis udara (kg/m^3) = 1.226 kg/m^3

U_{T_z} = rata – rata kecepatan angin selama waktu interval T pada ketinggian z meter diatas rata – rata permukaan air atau daratan.

Untuk nilai kecepatan angin pada saat kondisi ekstrim, dapat menggunakan persamaan dibawah ini dengan kecepatan U_o pada ketinggian h diatas permukaan laut dengan rata-rata kecepatan angin U dan rata – rata ketinggian periode T_z atas permukaan laut.

$$U(T, z) = U_o \left\{ 1 + C \cdot \ln \frac{T}{T_o} \right\} \left\{ 1 - 0.41 \cdot I_U(z) \cdot \ln \frac{T}{T_o} \right\} \dots \dots \dots (49)$$

dengan :

$$h = 10 \text{ m}, T_o = 1 \text{ jam}, \text{ dan } T < T_o \dots \dots \dots (50)$$

dan

$$C = 5.73 \cdot 10 \cdot \sqrt[2]{1 + 0.15 U_o} \dots \dots \dots (51)$$

$$I_U = 0.06 \cdot (1 + 0.043 U_o) \left(\frac{z}{h} \right)^{-0.22} \dots \dots \dots (52)$$

Dimana U akan memiliki *return periode* yang sama dengan U_o .

Berdasarkan uraian diatas maka persamaan yang lebih valid untuk menghitung beban angin pada saat kondisi ekstrim adala dengan menggunakan persamaan berdasarkan DNV.

Nilai koefisien bentuk berdasarkan ABS dan DNV berbeda – beda tergantung pada bentuk benda yang terkena angin. Nilai dari koefisien (C_s) menurut ABS dapat dilihat dari Tabel 2.1

Tabel 2.1 *Shape Coefficients for Wind Force Calculations*

<i>Shape of Structure</i>	<i>C_s</i>
<i>Spherical</i>	0.40
<i>Cylindrical shapes (all sizes) used for crane pedestals, booms, helidecks, etc</i>	0.50
<i>Hull, based on block projected area</i>	1.00
<i>Deck houses</i>	1.00
<i>Closters of deck houses and other structures, based on block projected area</i>	1.00
<i>Isolated structural shaped (ie.g., cranes, angle channel beams, etc)</i>	1.50
<i>Under deck areas (smooth)</i>	1.00
<i>Under deck surface (exposed beams and griders)</i>	1.30
<i>Rig derrick, cace face, assuming fabricated from angle</i>	1.25

(Sumber: ABS MODU Part 3, 2001)

Sedangkan nilai dari C_h dapat dilihat pada Tabel 2.2

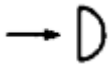
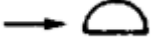
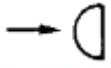
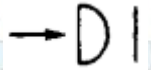
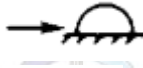
Tabel 2.2 *Wind Pressure Height Coefficient Above the Design Water Surface*

Height (m)	Height (ft)	C_b
0-15.3	0-50	1.00
15.3-30.5	50-100	1.10
30.5-46	100-150	1.20
46-61	150-200	1.30
61-76	200-250	1.37
76-91.5	250-300	1.43
91.5-106.5	300-350	1.48

(Sumber: ABS MODU Part 3, 2001)

Nilai dari koefisien (C) menurut DNV dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 2.3 *Shapes Coefficients C for Sphere-Shaped Structure*

	Structures	Shape Coefficient	
	Hollow hemisphere, concavity to wind	1.40	
	Hollow hemisphere	0.35	
	Hollow or solid hemisphere, concavity to leeward	0.40	
	Solid hemisphere and circular disc	1.20	
	Hemisphere on horizontal plane	0.50	
	Sphere	$Re \leq 4.2 \times 10^5$	0.5
		$4.2 \times 10^5 < Re < 4.2 \times 10^6$	0.15
		$Re \geq 10^6$	0.20

(Sumber: DNV RP C205, 2007)

Nilai *Reynolds Number* (Re) diperoleh dengan persamaan :

$$Re = \frac{D \cdot U_{T,z}}{\nu_a} \dots \dots \dots (53)$$

dengan :

D = diameter (m)

$U_{T,z}$ = kecepatan angina pada elevasi z (m/ s)

ν_a = viskositas kinematis udara (1.55×10^{-5})

2.2.16 Beban Angkat *Crane*

Faktor yang mempengaruhi kapasitas *crane* dalam operasional yaitu

- Gaya angin
- Beban ayunan dan
- Kecepatan mengangkat

Faktor dinamis harus diperhatikan dengan hati-hati dalam perencanaan *crane* di atas FSO (Adi, 2005). Sesuai dengan batasan masalah yang digunakan, gerakan yang terjadi pada *crane* dan *boom* pada saat operasi serta defleksi dari *crane* diabaikan dan hanya ditinjau beban yang diangkat

oleh *crane* saja. Drai beban angkat *crane* dicari gaya dan momen pada bagian sambungan *crane pedestal* dengan *hull* FSO.

Beban *crane* dicari dengan persamaan :

$$W = m \times g \quad \dots\dots\dots (54)$$

dengan

W = Beban *crane* (N)

m = massa dari beban (kg)

g = percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

sedangkan persamaan untuk mencari momen adalah :

$$M = W \times l \quad \dots\dots\dots (55)$$

dengan

M = momen (N.m)

l = lengan (m)



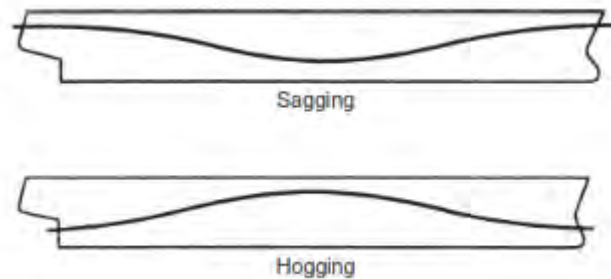
Gambar 2.10 *Free Body diagram crane*
(Sumber: Popov, 1996)

Frekuensi penggunaan *crane* dalam satu bulan adalah lebih dari 10 jam, tetapi tidak sampai dengan 50 jam (API, 2004), serta dalam satu kali operasi diasumsikan *crane* bekerja selama 10 menit.

2.2.17 Kekuatan Memanjang Kapal

Dua kondisi yang perlu diperhatikan pada kekuatan memanjang kapal adalah suatu kondisi dimana puncak gelombang pada amidship dan kondisi puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung kapal. Maka kapal akan mengalami *hogging* dan *sagging*. Pada kondisi tertentu *hogging* dan

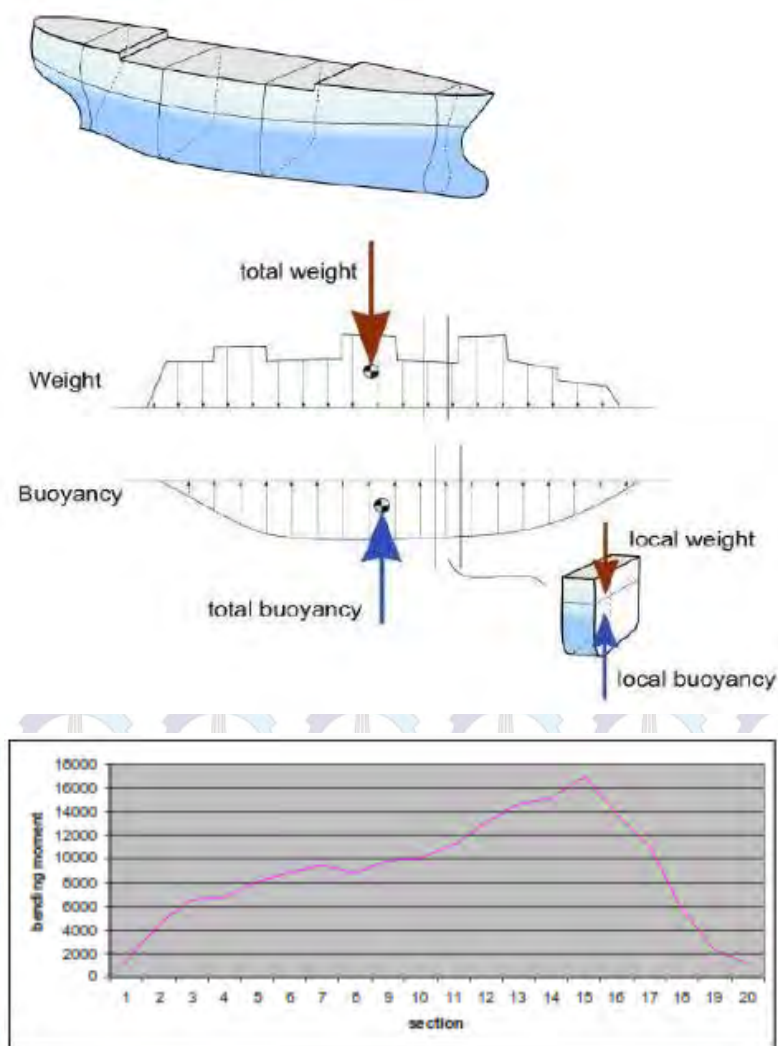
sagging mengalami nilai yang besar karena kondisi distribusi massa kapal. Seperti ilustrasi di bawah ini:



Gambar 2.11 *Sagging dan hogging*

(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

Pada dasarnya kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertical yang dialami oleh grider badan kapal yakni gaya berat dan gaya buoyancy. Untuk suatu floating body harus sebanding dengan total buoyancy dan kedua gaya tersebut harus beraksi sepanjang garis yang sama. Meskipun berat pada tiap lokasi sepanjang kapal tidak akan sebanding dengan *buoyancy*. Gaya berat dipengaruhi oleh kombinasi berat kapal dan berat muatan yang memiliki lokasi berat yang tetap, sedangkan gaya buoyancy dipengaruhi oleh bentuk badan kapal dan lokasi kapal pada air (*draft* dan *trim*).



Gambar 2.12 Gaya vertikal (*weight dan buoyancy*) yang mempengaruhi kekuatan memanjang kapal
(Sumber : C.G. Daly, Ship Structure I)

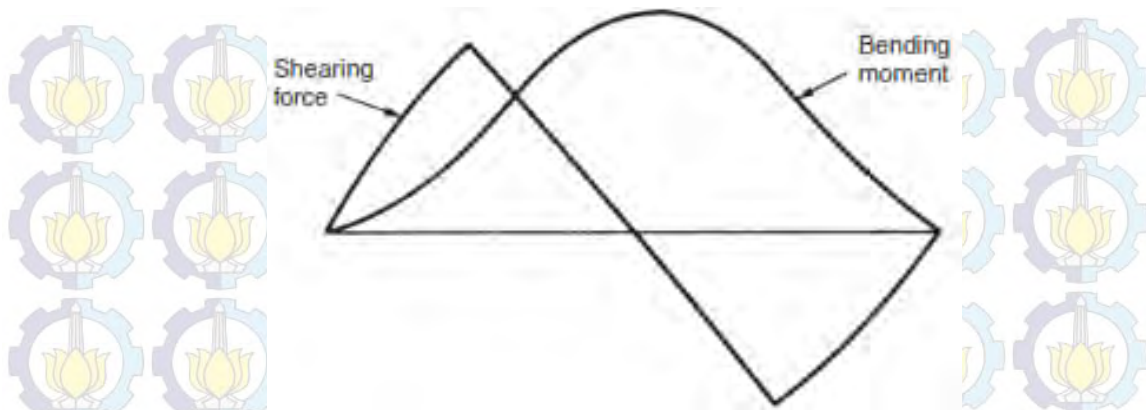
2.2.18 Longitudinal Bending Moment pada Still Water

Jika A merupakan cross-sectional area pada suatu titik, beban per satuan panjang pada suatu titik adalah $\rho g A - mg$, *shearing force* (F) dan *Momen Bending* (M) dirumuskan sebagai berikut :

$$F = \int (\rho g A - mg) dx \dots \dots \dots (56)$$

$$M = \int F dx = \iint (\rho g A - mg) dx \cdot dx \dots \dots \dots (57)$$

Kurva *shearing force* dan *Momen Bending* ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.13 *Shearing force* dan *bending moment*
(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

2.2.19 Longitudinal Bending Moment pada Calm Water

Pada air yang bergelombang bending momen dirumuskan sebagai berikut :

$$M = M_s + M_w \dots \dots \dots (58)$$

$$M_w = M_\zeta + M_z + M_\psi \dots \dots \dots (59)$$

keterangan :

M = Total *Momen bending*

M_s = *Momen bending* pada *still water*

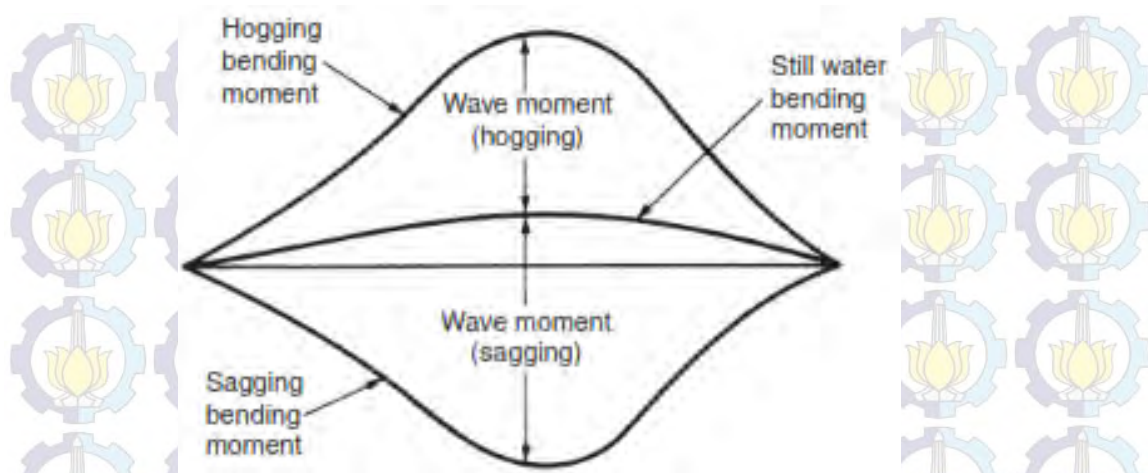
M_w = *Momen bending* pada kondisi bergelombang

M_ζ = *Momen bending* yang dihasilkan oleh profil gelombang

M_z = *Momen bending* yang dihasilkan oleh gerak *leaving*

M_ψ = *Momen bending* yang dihasilkan oleh gerak *pitching*

Sedangkan untuk besarnya bending momen dapat diilustrasikan seperti pada gambar dibawah:



Gambar 2.14 *Still water dan wave bending moment*
(Sumber: Eric Tupper, Introduction to Naval Architecture, 2002)

Bending momen akibat *heaving* pada *calm water* dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{\zeta} = \int \left[\int \left(\frac{w'}{g} \omega_e^2 Z_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) Z_a) dx \right] dx \dots\dots\dots (60)$$

Bending momen akibat *pitching* pada *calm water* dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{\psi} = \int \left[\int \left(\frac{w'}{g} \omega_e^2 \psi_a \right) dx + \int (2\rho g y(x) \psi_a) dx \right] dx \dots\dots\dots (61)$$

dengan :

$\frac{w'}{g}$ = added mass persatuan panjang kapal

ω_e = frekuensi *encountering*

$y(x)$ = *half-breadth* pada *waterplane* posisi x

Z_a = amplitudo gerakan *heaving*

ψ_a = amplitudo gerakan *pitching*

2.2.20 Longitudinal Bending Moment Pada Regular Wave (Strip Theory)

Solusi alternatif untuk menghitung bending momen statis pada gelombang trochoidal dengan memperhatikan gerakan kapal dapat dilakukan dengan Strip Theory oleh Korvin-Kroukovsky dan Jacobs. Beban total pada kapal di kondisi bergelombang diasumsikan sebagai berikut :

1. Pembebanan diakibatkan oleh distribusi uneven dari gaya berat dan *buoyancy* pada *calm water* df_a/dx diabaikan pada perhitungan. Karena hanya gaya dan momen dinamis saja yang diperhatikan. Momen statis tersebut harus ditambahkan secara terpisah pada bending momen dinamis agar dapat ditentukan bending momen totalnya.

2. Pembebanan diakibatkan perubahan distribusi *buoyancy* akibat profil gelombang dan juga karena gerakan *heaving* dan *pitching*.

$$\frac{df_b}{dx} = -c_n z_r \dots \dots \dots (62.1)$$

$$\frac{df_b}{dx} = -\rho g B_n (z - \xi \theta - \zeta) \dots \dots \dots (62.2)$$

$$\text{dengan } c_n = \rho g B_n \dots \dots \dots (62.3)$$

3. Pembebanan akibat *Smith Effect*, yakni efek gradient tekanan pada gelombang.

$$\frac{df_c}{dx} = -c_n \zeta (1 - e^{-kz}) \dots \dots \dots (63.1)$$

$$\frac{df_c}{dx} = -\rho g B_n \zeta (1 - e^{-kz}) \dots \dots \dots (63.2)$$

4. Pembebanan akibat kecepatan air relatif terhadap gelombang dan gerakan kapal.

$$\frac{df_d}{dx} = -b_n w_r + u \frac{da_n}{d\xi} w_r \dots \dots \dots (64.1)$$

$$\frac{df_d}{dx} = \left(-b_n + u \frac{da_n}{d\xi} \right) (\dot{z} - \xi \dot{\theta} - u \theta - \dot{\zeta} e^{-kz}) \dots \dots \dots (64.2)$$

5. Pembebanan akibat gaya inersia dari massa kapal mm per satuan panjang *added mass*, dan efek inersia dari aliran air pada gelombang.

Gaya inersia memiliki arah yang berlawanan dengan percepatan dan sebanding dengan massa dikalikan dengan percepatan dengan tanda berlawanan, sehingga :

$$\frac{df_e}{dx} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \ddot{w}_r \dots \dots \dots (63.1)$$

$$\frac{df_e}{dx} = -m_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) - a_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \dot{\zeta} e^{-kz}) \dots \dots \dots (63.2)$$

Dengan $a_n \ddot{\zeta} e^{-kz}$ merepresentasikan efek inersia dari aliran air pada gelombang yang terbentuk dari interferensi badan kapal – gelombang.

Sehingga pembebanan dapat ditentukan dengan menjumlahkan semua gaya yang telah di uraikan diatas menjadi :

$$\sum_{i=a}^e \frac{df_i}{dx} = \frac{df}{dx} = m_n \ddot{z}_n + a_n \dot{w}_r + b_n w_r - u \frac{da_n}{d\xi} w_r + c_n z_r \dots (64)$$

dengan :

$$z_r = z - \xi \theta - \zeta e^{-kz} \dots (65.1)$$

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} - u \dot{\theta} - \dot{\zeta} e^{-kz} \dots (65.2)$$

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} e^{-kz} \dots (65.3)$$

$$\ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} \dots (65.4)$$

Shear force dinamis diperoleh dari integrasi beban yang terjadi pada :

$$f(x) = \int_0^x \frac{df}{dx}(x) dx \dots (66)$$

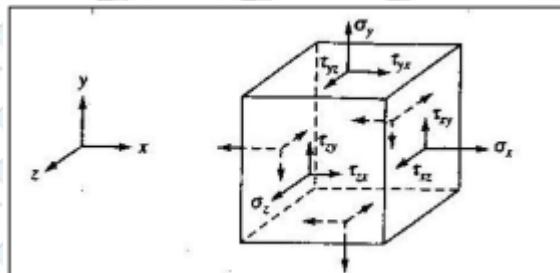
Dan bending momen dinamis vertikal merupakan integrasi dari *shear force*:

$$m(x) = \int_0^x f(x) dx \dots (67)$$

2.2.21 Tegangan yang Bekerja pada Crane

Sebuah elemen dengan dimensi sangat kecil yang tersusun dari benda solid akan diuraikan secara umum tegangan tiga-dimensi. Tegangan yang terjadi seragam pada dan terdistribusi secara merata pada tiap permukaannya.

Namun pada kenyataannya, tegangan yang terjadi hanya satu pada tiap permukaannya.



Gambar 2.15 Tegangan tiga dimensi pada suatu elemen.

(Sumber: Ansel C. Ugural, Stresses in Plates and Shells, 1999)

Permukaan atau plane biasanya di identifikasikan berdasar pada sumbu normal ke permukaan tersebut. Sebagai contoh, permukaan x merupakan

tegak lurus dari sumbu x. total kesembilan komponen saklar tegangan di identifikasikan sebagai tegangan titik, dapat digabungkan ke dalam bentuk:

$$[\tau_{ij}] = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (68)$$

Matriks diatas merepresentasikan variabel tegangan. Notasi *double subscript* menjelaskan : *subscript* pertama mendonasikan arah normal penampang dari komponen tegangan yang bekerja; *subscript* kedua mendonasikan arah tegangan. Dimana masing – masing notasi di uraikan sebagai berikut :

$$\sigma_x = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)} e_v + 2G\varepsilon_x \dots\dots\dots (69)$$

$$\sigma_y = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)} e_v + 2G\varepsilon_y \dots\dots\dots (70)$$

$$\sigma_z = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)} e_v + 2G\varepsilon_z \dots\dots\dots (71)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+v)} \gamma_{xy} \dots\dots\dots (72)$$

$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz} = \frac{E}{2(1+v)} \gamma_{yz} \dots\dots\dots (73)$$

$$\tau_{zx} = G\gamma_{zx} = \frac{E}{2(1+v)} \gamma_{zx} \dots\dots\dots (74)$$

Dengan *E* adalah *Modulus Young*, *v* *Poisson Ratio*, *G* *Shear Modulus*, dan *e_v* *Volumetric Strain* yang mengekspresikan penjumlahan dari tiga komponen *strain* normal, *e_v* = *ε_x* + *ε_y* + *ε_z*. *Volumetric Strain* juga dapat dinotasikan sebagai *e_v* = $\Delta V/V$, dimana *V* adalah volume inisial (awal) dan ΔV merupakan perubahan volume setelah mengalami deformasi.

2.2.22 Tegangan Axial

Tegangan aksial (tegangan normal) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$\sigma = f = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots\dots\dots (75)$$

dengan:

F : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang

A : luas penampang

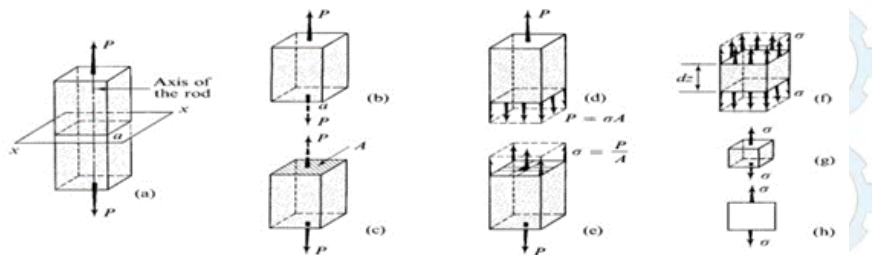
Pada batang-batang yang menahan gaya aksial saja, tegangan yang bekerja pada potongan yang tegak lurus terhadap sumbu batang adalah tegangan normal saja, tegangan geser tidak terjadi.

Arah potongan ini juga memberikan tegangan normal maksimum dibandingkan arah-arrah potongan lainnya. Apabila potongan dibuat cukup jauh dari ketidakteraturan (perubahan ukuran, sambungan), ternyata tegangan terdistribusi secara seragam, sehingga untuk memenuhi keseimbangan besarnya tegangan menjadi :

$$f = \frac{F}{A} \text{ atau } \frac{\text{gaya aksial}}{\text{luas}} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \dots \dots \dots (76)$$



Gambar 2.16 Gaya geser pada balok
(Sumber: Popov 1996)



Gambar 2.17 Ilustrasi tegangan normal akibat gaya aksial, (+) tarik dan (-) tekan
(Sumber: Popov 1996)

2.1.1 Bending Stress

Momen luar diimbangi oleh momen dalam yang merupakan resultan tegangan lentur (*bending*).

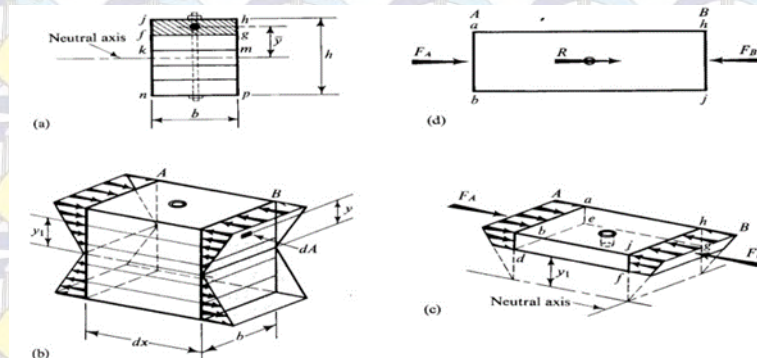
$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left(-\frac{y}{c} f_{max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{max}}{c} \int_A y^2 dA \dots \dots \dots (77)$$

Integral $\int_A y^2 dA = I$ adalah besaran penampang yang disebut momen *inersia* terhadap titik berat penampang. Jadi persamaan tegangan lentur menjadi:

$$M = -\frac{f_{max}}{c}I \text{ atau } f_{max} = -\frac{Mc}{I} \dots \dots \dots (78)$$

Tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak y dari garis netral :

$$f_{max} = -\frac{My}{I} \dots \dots \dots (79)$$



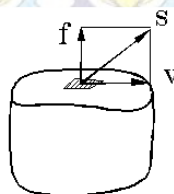
Gambar 2.18 Tegangan lentur (*bending*) pada suatu penampang
(Sumber: Popov 1996)

2.2.23 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai:

$$\tau = v = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta A} \dots \dots \dots (80)$$

Dengan V adalah gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang dan A adalah luas penampang.



Gambar 2.19 Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang
(Sumber: Popov, 1996)

Tidak sama dengan kasus tegangan aksial, kenyataannya tegangan geser yang bekerja sejajar terhadap penampang, diperoleh hubungan tegangan geser :

$$v = \frac{V}{A} \text{ atau } \frac{\text{ gaya geser }}{\text{ luas }} \left[\frac{\text{ N }}{\text{ m}^2} \right] \dots\dots\dots (81)$$

2.2.24 Tegangan Von Misses

Kapal harus mampu menahan beban – beban operasional tambahan yang terjadi dengan aman, yaitu tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan, serta pelat kapal, pelat bilah, agar tidak kehilangan stabilitasnya (tidak mengalami *buckling*). Untuk menghitung tegangan kita memakai persamaan :

$$\sigma(x, y) = \frac{M_{x.Y}}{I} \dots\dots\dots (82)$$

dengan:

- M_x = *Momen Bending* (ton.m)
- Y = jarak normal bidang (m)
- I = momen inersia bidang (m²)

Jadi harus ditentukan y yang merupakan jarak “titik berat bagian yang dihitung tegangannya” terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang), dan menghitung momen inersia penampang $I_{(x)}$. Karena penampang melintang kapal mempunyai banyak bagian, maka menghitung momen inersianya tak dapat dihitung dengan memakai rumus dasar ($I = \frac{1}{12} b.h^3$) dan sebaiknya dilakukan dalam bentuk tabulasi. Seperti telah dijelaskan didepan, akibat beban momen lengkung yang bekerja pada badan kapal, maka bagian penampang kapal yang mengalami tekanan dan posisinya mendatar (*horizontal*) dimasukkan kedalam perhitungan momen inersia harus sudah diperhitungkan lebar efektifnya, dengan cara seperti pada uraian didepan.

Pada element tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)

yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut (Ansys Mechanical) :

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(83)$$

dengan:

σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu

σ_x = tegangan arah sumbu x

σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada node tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *Von Mises*:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \dots(84)$$

dengan:

σ_{eq} = tegangan ekuivalen (*von mises stress*)

σ_x = tegangan normal sumbu x

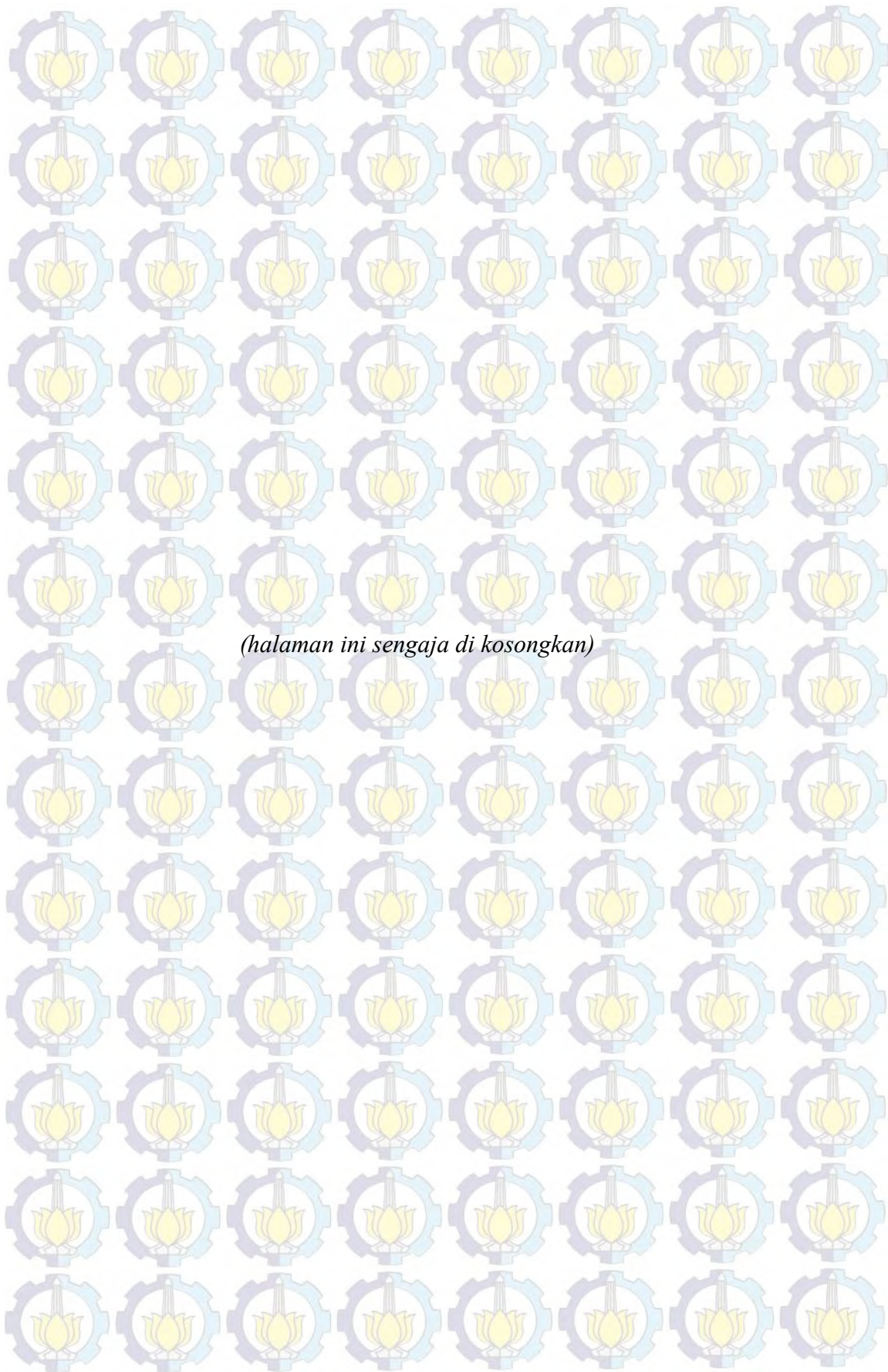
σ_y = tegangan normal sumbu y

σ_z = tegangan normal sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang yz

τ_{yz} = tegangan geser bidang zx

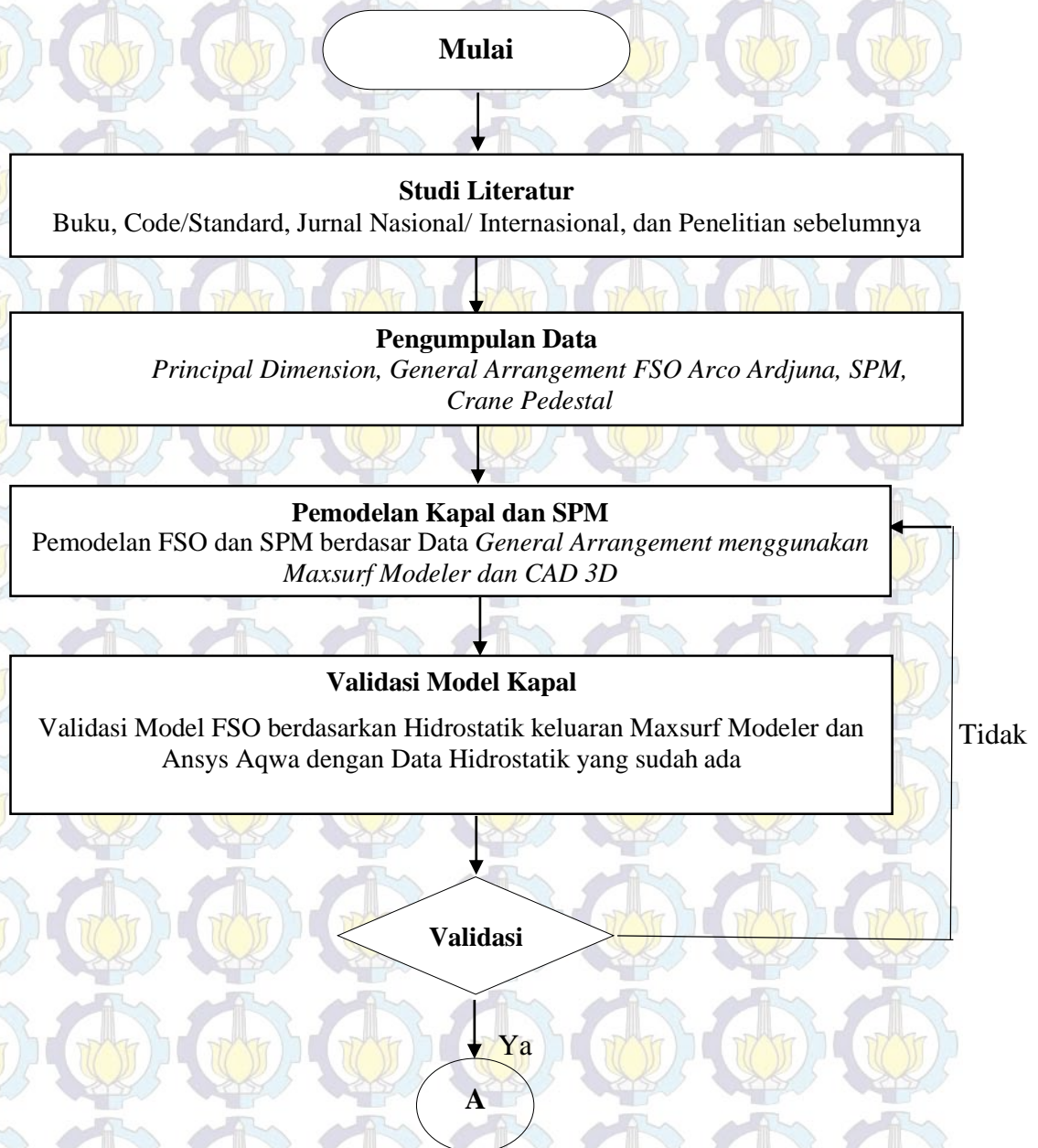
τ_{zx} = tegangan geser bidang



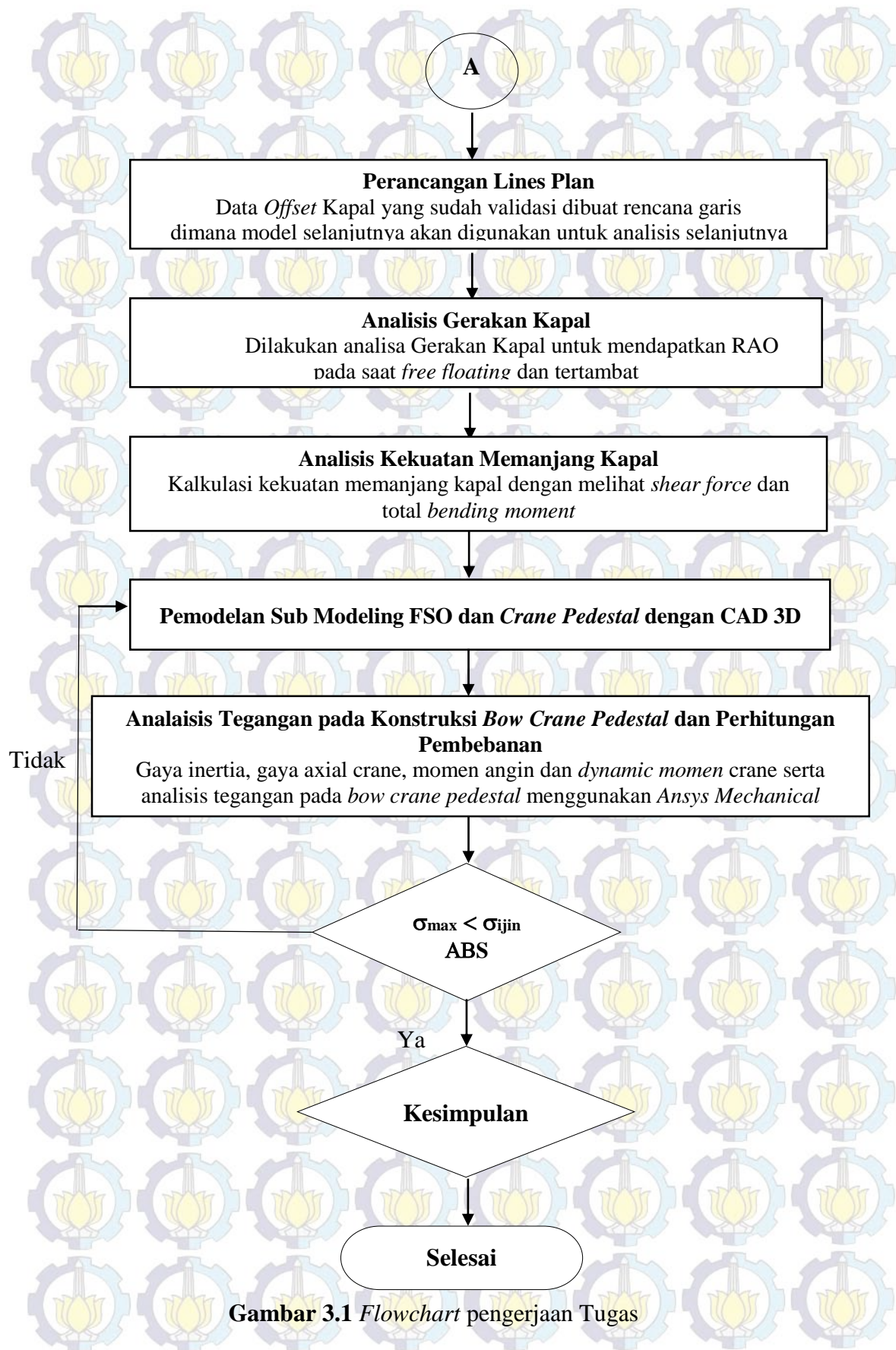
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi penelitian yang digunakan adalah model numerik yang dibuat dengan bantuan *software*. Sedangkan untuk metodologi penelitiannya, secara umum dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut :



Gambar 3.1 Flowchart pengerjaan Tugas Akhir



3.2 Prosedur Penelitian

Alur dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir ini diambil dari buku, materi perkuliahan, jurnal, dan penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu yang memiliki keterkaitan topik serupa untuk mencari dasar teori yang digunakan, dan *standard* atau *codes* yang relevan yang dibutuhkan selama pengerjaan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan awal dari penelitian dimulai. Semua data-data yang diperlukan dikumpulkan selengkap-lengkapnya untuk mempermudah dan menambuhkan akurasi penelitian. Data-data yang diperlukan antara lain : *General Arrangement* FSO Arco Ardjuna, SPM dan *crane pedestal* beserta hidrostatiknya beserta detail data teknis perancangan yang diperoleh dari PT. Citra Mas Surabaya. Data lingkungan menyangkut tinggi gelombang daerah operasi FSO, dan lain-lain.

3. Pemodelan dengan Maxsurf Modeler

Pemodelan awal *body* FSO dan SPM berdasarkan data *General Arrangement* menggunakan *software Maxsurf Modeler* bertujuan untuk mendapatkan koordinat-koordinat bentuk *body* FSO dan SPM serta untuk mendapatkan data hidrostatik model.

4. Validasi Model

Setelah melakukan pemodelan dilakukan validasi sebelum digunakan untuk analisa yang lebih jauh. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hidrostatik keluaran *Maxsurf Modeler* dari kapal yang telah dimodelkan dengan data hidrostatik yang telah ada. Jika validasi data dianggap salah, maka model akan didesain ulang sampai menyerupai *body* asli dengan batas faktor error tidak melebihi 5%.

5. Analisis Gerakan dengan *Software Ansys Aqwa 14.5*

Setelah model pada *Ansys Aqwa 14.5* selesai dan didapatkan *control point* untuk tiap struktur, maka model dipindahkan pada *software Ansys Aqwa 14.5* berdasarkan koordinat-koordinat yang didapat. Model pada *Ansys*

Aqwa 14.5 akan *dirunning* untuk mendapatkan RAO dari struktur FSO dan SPM pada kondisi *free floating*

6. Analisis Kekuatan Memanjang Kapal

Dilakukan analisis kekuatan memanjang kapal pada saat tertambat. Kemudian dilakukan perhitungan *bending moment* dan *shear force* pada FSO yang dipengaruhi karakteristik RAO FSO pada saat tertambat.

7. Pemodelan *Crane* dengan CAD 3D dan Perhitungan Pembebanan

Sebelum melakukan pemodelan di *Ansys Mechanical 14.5*, terlebih dahulu dibuat pemodelan 3D pada CAD 2012 untuk mempermudah.

8. Analisis Lokal Tegangan *Crane Pedestal*

Analisis tegangan dilakukan untuk daerah sambungan antara *crane pedestal* dengan *hull* kapal dengan kekuatan memanjang di lokasi terdapatnya *crane* dan pembebanan operasi. Analisa lokal tegangan kapal dilakukan dengan *Ansys Multiphysic*. Kemudian model geometri tersebut dilakukan *Meshing*, pemilihan material, pemberian *support* dan lain-lain sesuai data yang dibutuhkan. Tegangan lokal konstruksi *crane pedestal* pada FSO dilakukan dengan *running Ansys Mechanical 14.5*.

9. Validasi Pemodelan Struktur (*Meshing Sensitivity*)

Sebelum dilakukan analisis tegangan *Von-Misses* dilakukan *Meshing* terlebih dahulu. Pemilihan jumlah *Meshing* yang tepat akan memberikan hasil analisis yang akurat. Oleh karena itu, pembuatan *Meshing* dilakukan *Meshing Sensitivity*. *Meshing Sensitivity* adalah iterasi untuk memperoleh tegangan yang bernilai konstan dengan variasi ukuran *Meshing*. Pada pemodelan software *Ansys Mechanical 14.5* model dapat digunakan dalam analisis selanjutnya dengan syarat menggunakan ukuran minimal *Meshing* saat tegangan telah mendekati konstan.

10. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil yang didapat dengan persamaan tegangan FEM (*Von Misses Stress*). Analisis dilakukan dengan mengacu pada standar yang digunakan, yaitu *American Bureau of Shipping* untuk mengetahui apakah struktur tersebut sesuai dengan kriteria atau tidak.

11. Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan terhadap analisis yang telah dilakukan meliputi pergerakan struktur, kekuatan memanjang kapal, dan tegangan lokal pada konstruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna mengacu pada ABS.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan meliputi data struktur dan data lingkungan. Data struktur terdiri dari *principle dimension* FSO Arco Ardjuna dan SPM, data hidrostatik FSO Arco Ardjuna, dan *property mooring line*.

- FSO Arco Ardjuna:

Tabel 3.1 *Principle dimension* FSO Arco Ardjuna

<i>Designation</i>	Units	Minimum Operating Draft	Maximum Operating Draft
<i>Length, LBP</i>	m	142.6	
<i>Breadth, B</i>	m	48.2	
<i>Depth, D</i>	m	26.5	
<i>Draft, T</i>	m	2.5	24
<i>Displacement</i>	Ton	15529	153202
LCG	m	1.29	2.17
KG (VCG)	m	14.04	13.44

(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- *Single Point Mooring*:

Tabel 3.2 *Main dimension CALM buoy*

<i>Designation</i>	Unit	Data
<i>Shell Outer Diameter</i>	m	12
<i>Centre Well Diameter</i>	m	3.57
<i>Skirt Outer Diameter</i>	m	16.26
<i>Buoy Body Height</i>	m	5.3
<i>Skirt Thickness</i>	mm	12
<i>Skirt Height/ Baseline</i>	m	1
<i>Buoy Installed Draft</i>	m	2.38
<i>Centre of Gravity (KG)</i>	m	3.42

(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- *Mooring Hawser*

Tabel 3.3 *Mooring Hawser*

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Number of Lines</i>		Twin lines
<i>Type</i>		Grommet
<i>Material</i>		Nylon
<i>Length</i>	ft	220
<i>Circumference</i>	Degree	17
<i>Design Mooring</i>	Tonnes	400
<i>New Dry Breaking Strength per Hawser</i>	kN	4049

(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- *Anchor Legs and Pattern Definition*

Tabel 3.4 *Anchor Legs and Pattern Definition*

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Data</i>
<i>Number of Legs</i>		6
<i>Anchoring Pattern</i>		even spacing (60°)
<i>Paid Out Length</i>	m	350
<i>Pretension</i>	kN	262.17
<i>Pretension Angle</i>	Degree	45.26
<i>Number of Segment</i>		1
<i>Chain Diameter</i>	mm	102
<i>Chain Type</i>		R3
<i>Minimum Breaking Load</i>	kN	8315
<i>Minimum Breaking Load After Corrosion</i>	kN	7051
<i>Unit Weight in Air</i>	Kg/ m	210.16
<i>Unit Weight in Water</i>	Kg/ m	182.72
<i>Stiffness EA</i>	MN	868
<i>Anchoring Radius</i>	m	337.5

(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- *Data Lingkungan Perairan Laut Jawa*

Tabel 3.5 *Data lingkungan*

<i>Parameter</i>	<i>100-years return period</i>
Kedalaman	45 m
Tinggi Gelombang Maksimum/Hm	6.4 m
Periode Gelombang Maksimum /Tm	9.4 sekon
Tinggi Gelombang Signifikan/Hs	3.6 m
Periode Gelombang Signifikan/Ts	8.3 sekon
Periode Puncak Gelombang (Tp)	9 sekon
Spektrum	Jonswap

(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- Data Loading Bow Pedestal Crane FSO Arco Ardjuna

Tabel 3.6 General Arrangement Pedestal Crane

<i>Loading Slew Ring</i>	Unit	Data
<i>Total Crane Weight (dry)</i>	Ton	57.9
<i>Total Crane Weight (operation)</i>	Ton	60.76

<i>Data Loading Pedestal</i>	Unit	Data
<i>Maximal axial load</i>	Ton	118.1
<i>Maximal dynamic momen</i>	Ton.m	1002.2
<i>Panjang crane boom</i>	Ton	18.4
<i>Maximal Axial Load</i>	Ton	110.8

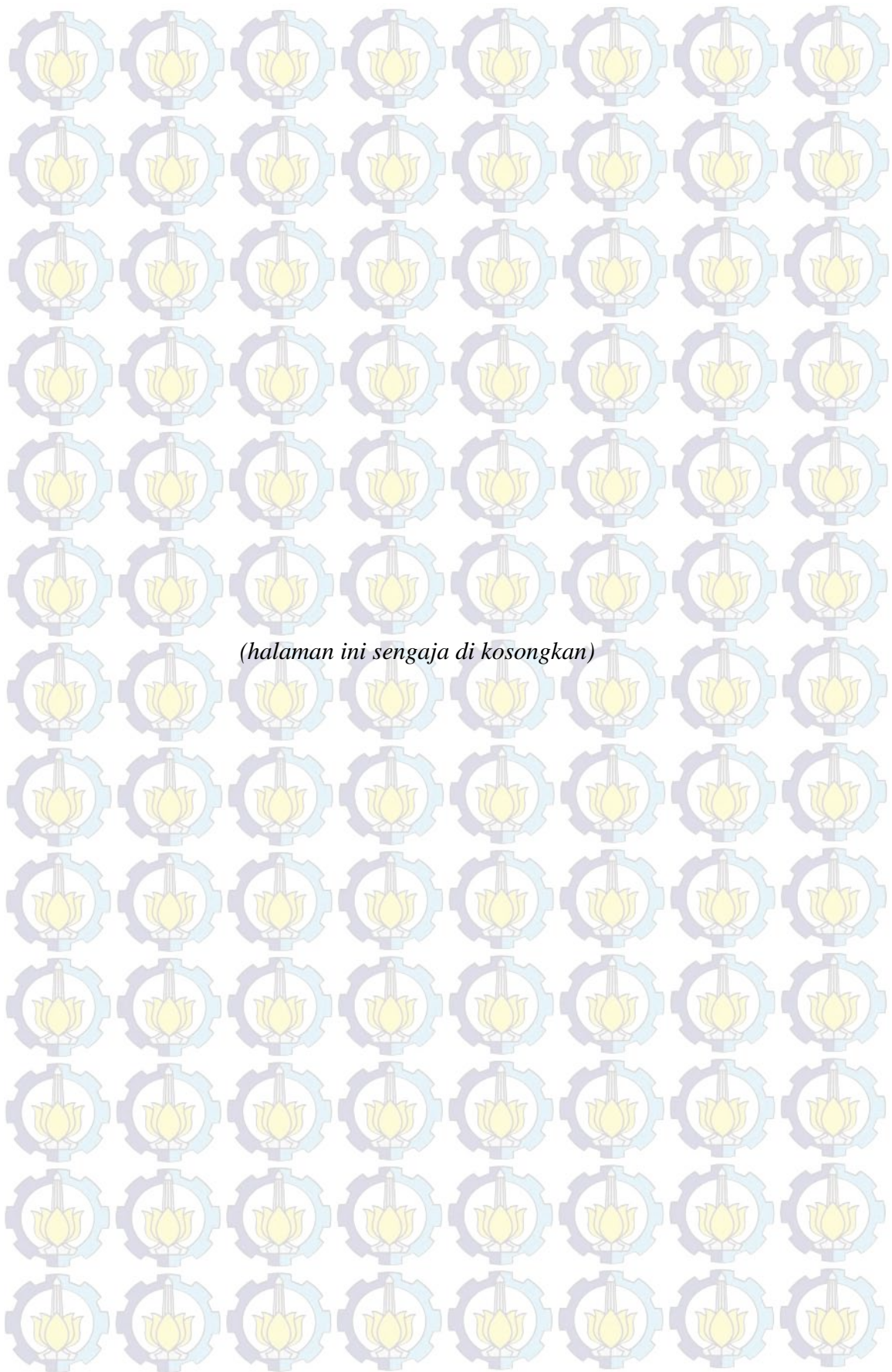
(Sumber: PT. Citra Mas, 2013)

- Data General Arrangement Bow Pedestal Crane FSO Arco Ardjuna

Tabel 3.7 Dimensi Bow Crane Pedestal FSO Arco Ardjuna

<i>Structural Member Name</i>	Units	Dimension
<i>Pedestal Column</i>	mm	1346 OD, thk. 38, height. 2348
<i>Main Bracket (column to main deck)</i>	mm	1600 x 1650 x 46
<i>Face of main bracket</i>	mm	160 x 26
<i>Additional stiffner of main bracket</i>	mm	150 x 26
<i>Pedestal ring</i>	mm	1846 OD, thk. 26
<i>Pedestal interface</i>	mm	1486 OD, Thk. 74
<i>Ordinary bracket (pedestal ring to pedestal interface)</i>	mm	250 x 598 x 46
<i>Distance of pedestal ring to pedestal interface</i>	mm	624

Data lingkungan di atas merupakan data lingkungan yang nilainya sama untuk semua arah pembebanan. Dalam hal ini, pembebanan pada struktur ialah pada arah 0°, 45°, 90° dan 180°. Arah pembebanan untuk kondisi tertambat 0° berarti beban tersebut datang dari arah belakang FSO. Kemudian untuk arah pembebanan 90° berarti beban tersebut datang dari arah samping FSO melintang dengan gerak maju FSO. Arah pembebanan untuk 180° beban tersebut datang dari arah depan SPM.



BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur meliputi pemodelan FSO Arco Ardjuna dan SPM. Pemodelan dibuat dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler dan CAD 3D dengan acuan gambar *General Arrangement* (GA) dan data yang sudah ada.

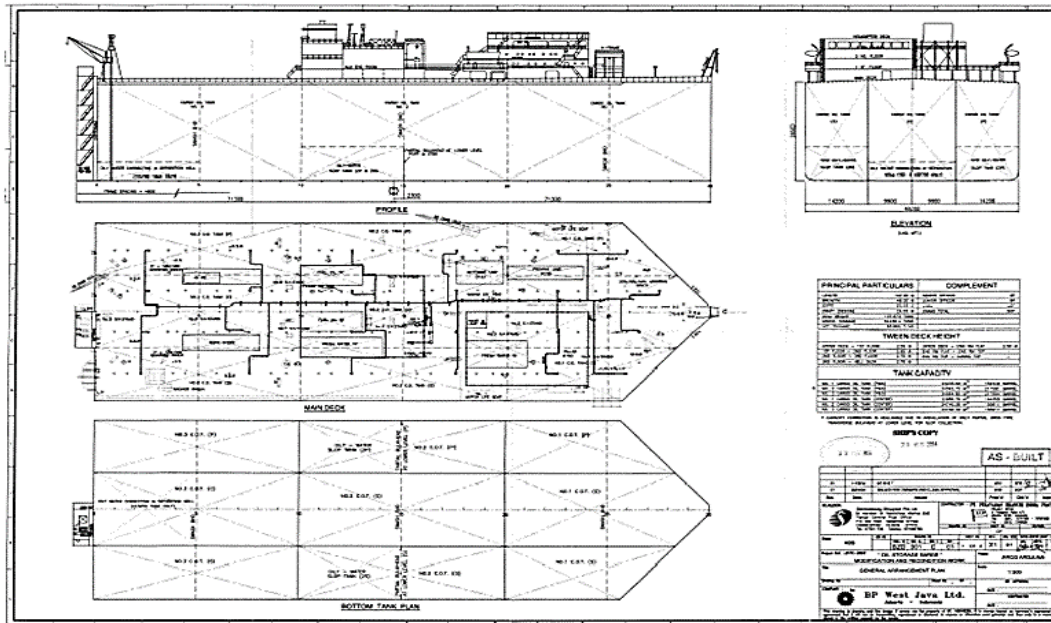
4.1.1 Pemodelan FSO Arco Ardjuna

Pada pemodelan ini menggunakan kapal FSO Arco Ardjuna yang beroperasi di laut Jawa. Pemodelan FSO menggunakan *software* Maxsurf dengan acuan gambar *General Arrangement* (GA) dan *principal dimension* sebagai berikut:

Tabel 4.1 *Principal Dimension* FSO Arco Ardjuna

<i>Designation</i>	Units	Minimum Operating Draft	Maximum Operating Draft
<i>Length, LBP</i>	m	142.6	
<i>Breadth, B</i>	m	48.2	
<i>Depth, D</i>	m	26.5	
<i>Draft, T</i>	m	2.5	24
<i>Displacement</i>	Ton	15529	153202
LCG	m	1.29	2.17
KG (VCG)	m	14.04	13.44

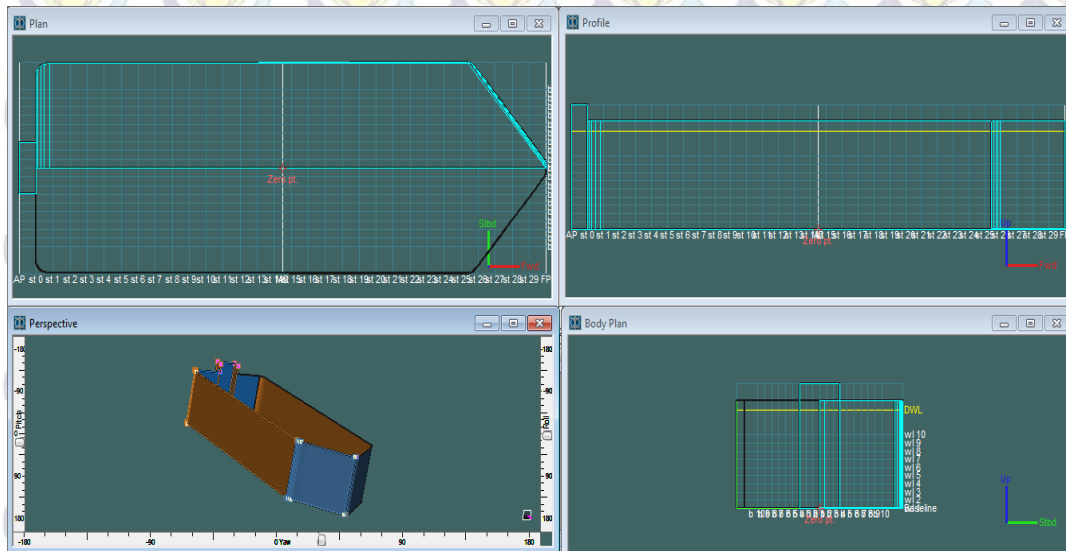
(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)



Gambar 4.1 General Arrangement (GA) FSO Arco Ardjuna

(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)

Selanjutnya hasil pemodelan badan FSO dapat dilihat seperti terlihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Pemodelan FSO Arco Ardjuna menggunakan Maxsurf Modeler

4.1.2 Pemodelan *Single Point Mooring*

Single Point Mooring yang digunakan adalah tipe *CALM buoy*. Model *CALM buoy* menggunakan *buoy* yang cukup besar dengan tali tambat sejumlah 6 pada

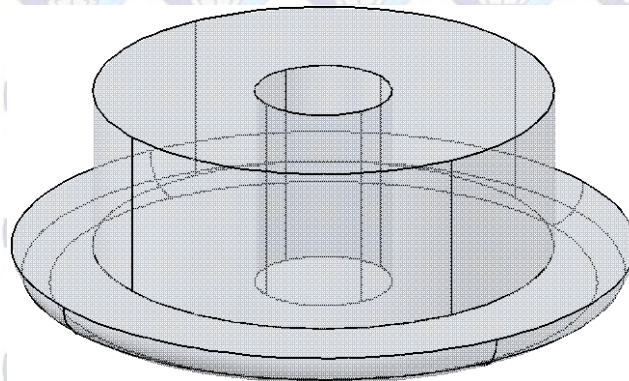
sudut 60° dan panjang tali 350 m. Untuk menghubungkan FSO dengan CALM buoy digunakan dua *hawser* untuk menghubungkannya. Berikut adalah ukuran utama (*principal dimension*) *Single Point Mooring CALM buoy* yang dibuat dalam permodelan:

Tabel 4.2 *Main dimension CALM buoy*

<i>Designation</i>	Unit	Data
<i>Shell Outer Diameter</i>	m	12
<i>Centre Well Diameter</i>	m	3.57
<i>Skirt Outer Diameter</i>	m	16.26
<i>Buoy Body Height</i>	m	5.3
<i>Skirt Thickness</i>	mm	12
<i>Skirt Height/ Baseline</i>	m	1
<i>Buoy Installed Draft</i>	m	2.38
<i>Centre of Gravity (KG)</i>	m	3.42

(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)

Selanjutnya hasil pemodelan badan SPM dapat dilihat seperti terlihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pemodelan *body interface* SPM menggunakan CAD 3D

4.2 Hidrostatik

Untuk mendapatkan hasil pemodelan FSO yang akurat sesuai dengan keadaan sebenarnya, maka rancangan model harus divalidasi. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil perhitungan hidrostatik keluaran Maxsurf Modeler dengan data hidrostatik FSO Arco Ardjuna yang sudah ada pada kondisi *full load* dan *light load*.

Besaran-besaran *hydrostatics* yang dibandingkan meliputi: *displacement*, *volume*, sarat FSO, *Lwl*, tinggi FSO, *Wetted Surface Area*, *Waterplane area*, *max cross sect area*, koefisien-koefisien bentuk (*Cp*, *Cb*, *Cm* dan *Cwp*), letak *Centre of Buoyancy*, letak *Centre of Floatation*, dan lain lain seperti tersebut pada tabel 4.3 dan table 4.4 dibawah. Hasil perhitungan hidrostatik yang diperoleh berdasarkan Maxsurf Modeler sudah menunjukkan kesesuaian dengan *hydrostatics* data FSO Arco Ardjuna dimana perbedaannya (toleransi atau faktor *error*) < 5%. Dengan demikian hasil perancangan *lines plan* pada gambar 4.4 adalah valid untuk dipakai sebagai input dalam menghitung karakteristik gerakan enam derajat kebebasan FSO Arco Ardjuna.

Tabel 4.3 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi *full load*

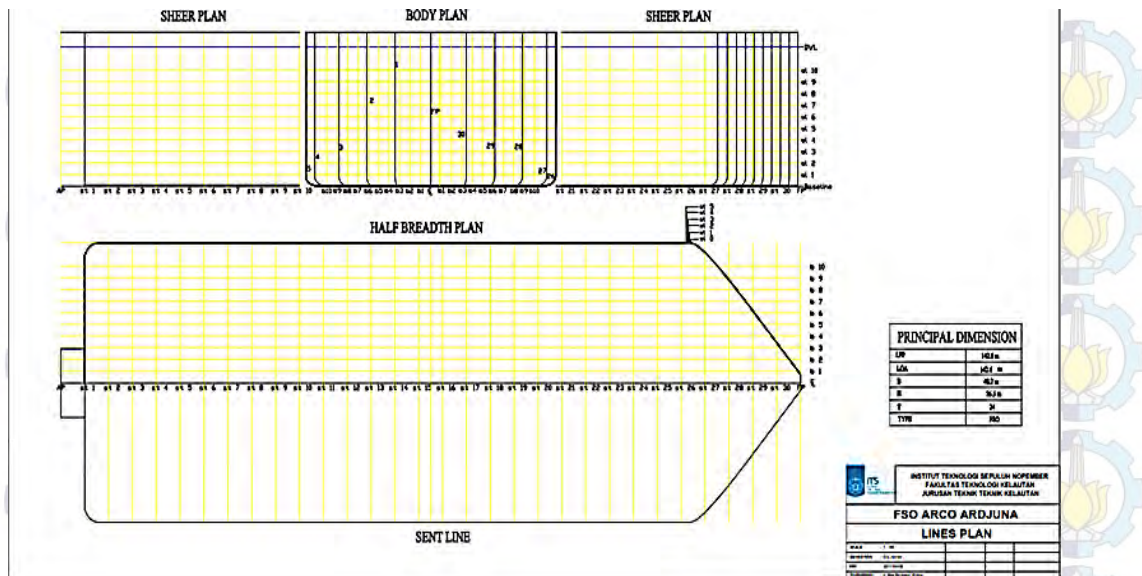
No	Data	Unit	FSO	Maxsurf Modeler	Koreksi	Status
1	<i>Displacement</i>	tonne	153026.000	153410.000	0.25%	Memenuhi
2	<i>Volume</i>	m ³	149293.659	149668.396	0.25%	Memenuhi
3	<i>Draft to Baseline</i>	m	24.000	24.000	0.00%	Memenuhi
4	<i>Immersed depth</i>	m	24.000	24.000	0.00%	Memenuhi
5	<i>Lwl</i>	m	142.600	142.600	0.00%	Memenuhi
6	<i>Beam wl</i>	m	48.200	48.182	0.04%	Memenuhi
7	<i>WSA</i>	m ²	12841.000	12832.178	0.07%	Memenuhi
8	<i>Max cross sect area</i>	m ²	1150.630	1154.665	0.35%	Memenuhi
9	<i>Waterplane area</i>	m ²	6239.000	6240.245	0.02%	Memenuhi
10	<i>Cp</i>		0.908	0.909	0.11%	Memenuhi
11	<i>Cb</i>		0.904	0.908	0.42%	Memenuhi
12	<i>Cm</i>		0.996	0.999	0.32%	Memenuhi
13	<i>Cwp</i>		0.908	0.908	0.03%	Memenuhi
14	<i>LCB from midship</i>	m	-2.780	-2.856	2.73%	Memenuhi
15	<i>LCF from midship</i>	m	-2.790	-2.847	2.04%	Memenuhi
16	<i>KB</i>	m	12.020	12.003	0.14%	Memenuhi
17	<i>KMt</i>	m	19.730	19.643	0.44%	Memenuhi
18	<i>KMI</i>	m	71.300	71.316	0.02%	Memenuhi

Tabel 4.4 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi kondisi *light load*

No	Data	Unit	FSO	Maxsurf Modeler	Koreksi	Status
1	<i>Displacement</i>	tonne	15385.000	15471.000	0.56%	Memenuhi
2	<i>Volume</i>	m ³	15009.756	15094.252	0.56%	Memenuhi
3	<i>Draft to Baseline</i>	m	2.500	2.500	0.00%	Memenuhi
4	<i>Immersed depth</i>	m	2.500	2.500	0.00%	Memenuhi
5	Lwl	m	142.600	142.600	0.00%	Memenuhi
6	Beam wl	m	48.055	48.055	0.00%	Memenuhi
7	WSA	m ²	6681.000	6702.724	0.33%	Memenuhi
8	<i>Max cross sect area</i>	m ²	114.340	114.522	0.16%	Memenuhi
9	<i>Waterplane area</i>	m ²	6239.000	6232.977	0.10%	Memenuhi
10	Cp		0.910	0.910	0.00%	Memenuhi
11	Cb		0.873	0.899	2.98%	Memenuhi
12	Cm		0.959	0.969	1.04%	Memenuhi
13	Cwp		0.908	0.910	0.22%	Memenuhi
14	LCB from <i>midship</i>	m	-2.690	-2.715	0.93%	Memenuhi
15	LCF from <i>midship</i>	m	-2.790	-2.864	2.65%	Memenuhi
16	KB	m	1.260	1.250	0.79%	Memenuhi
17	KMt	m	78.000	76.563	1.84%	Memenuhi
18	KMI	m	590.800	580.779	1.70%	Memenuhi

4.3 Lines Plan

Setelah validasi model sebenarnya dan model Maxsurf memenuhi, selanjutnya model Maxsurf digunakan untuk analisis pada tahap berikutnya. Sebelumnya perlu dilakukan perancangan rencana garis atau yang disebut *lines plan*. Rencana garis ini diperoleh dari data *offset* model yang sudah valid. Berikut adalah gambar lines plan dari FSO Arco Ardjuna.



Gambar 4.4 Lines Plan FSO Arco Ardjuna

4.4 Analisis Gerakan Kapal

Analisis gerakan dilakukan dengan bantuan software Ansys Aqwa. Data-data yang diperlukan untuk analisis gerakan menggunakan Ansys Aqwa adalah data offset kapal yang digunakan program untuk mengidentifikasi badan kapal, untuk menghitung luas, volume dan *displacement*, sehingga proses tersebut dapat digunakan sebagai salah satu validasi Ansys Aqwa. Pemodelan yang dilakukan di dalam Ansys Aqwa dapat di *import* dengan software Maxsurf Modeler dan CAD 3D sehingga kapal dan SPM tidak perlu dimodelkan dari awal untuk geometrinya.

Data input lainnya yang digunakan dalam analisis gerakan menggunakan Ansys Aqwa antara lain data lingkungan seperti tinggi dan periode gelombang, kedalaman perairan, arah sudut datang gelombang (0° , 90° dan 180°), kondisi kapal menyangkut *draft* kapal (*full load* 24 m dan *light load* 2.5 m), radius girasi, dan VCG.

Tabel 4.5 Data lingkungan

Parameter	100-years return period
Kedalaman	45 m
Tinggi Gelombang Maksimum/Hm	6.4 m
Periode Gelombang Maksimum /Tm	9.4 sekon
Tinggi Gelombang Signifikan/Hs	3.6 m
Periode Gelombang Signifikan/Ts	8.3 sekon
Periode Puncak Gelombang (Tp)	9 sekon
Spektrum	Jonswap

(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)

Tabel 4.6 Data KG pada FSO

Condition	Displacement (Ton)	LCG (x) m	TCG (y) m	VCG/KG (z) m
Full Load	153026	2.17	0.8	13.44
Light Load	15385	1.29	0	14.04

(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)

Jari-jari girasi diperoleh melalui persamaan pendekatan sesuai dalam buku *Dynamics of Marine Vehicles*, dengan

$$K_{xx} = 0.333 \times B$$

$$K_{yy} = 0.25 \times L$$

$$K_{zz} = K_{yy}$$

dengan : B = lebar kapal (m), L = panjang kapal (m)

Berikut adalah table hasil perhitungan jari-jari girasi pada FSO Arco Ardjuna:

Tabel 4.7 Data *radius gyration* pada FSO

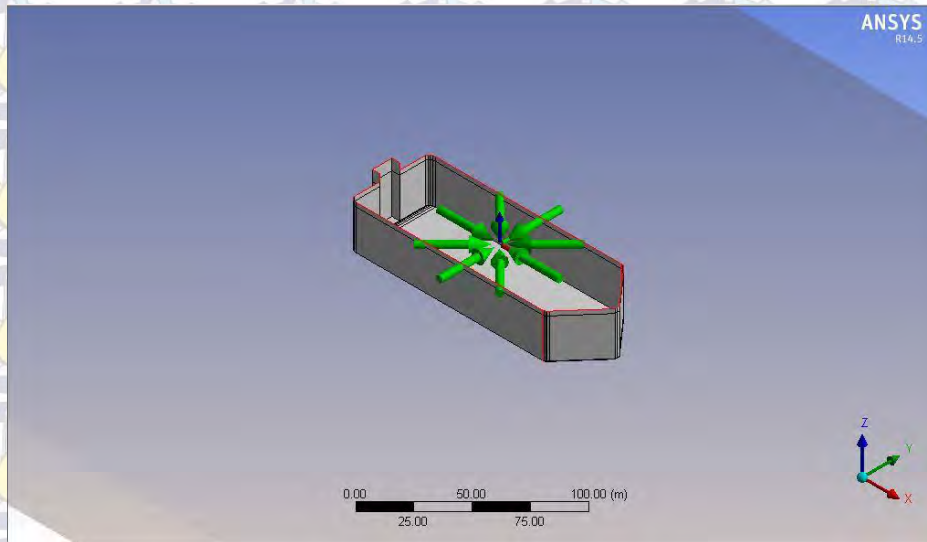
Condition	Kxx (m)	Kyy (m)	Kzz (m)
Full Load	16.388	35.65	37.076
Light Load	16.388	35.65	37.076

Tabel 4.8 Data KG dan *radius gyration* pada SPM

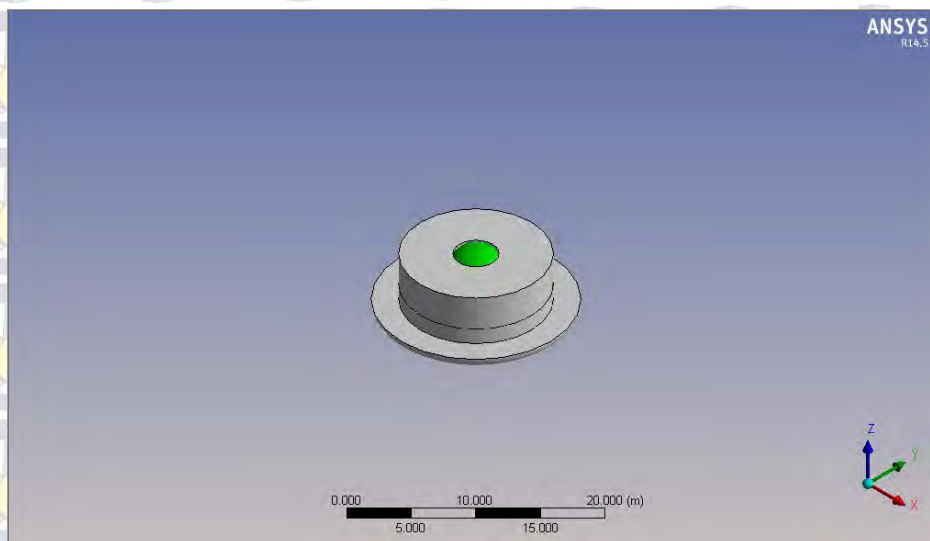
Condition	Displacement (Ton)	LCG (x) m	TCG (y) m	VCG/KG (z) m	Kxx (m)	Kyy (m)	Kzz (m)
SPM	255.34	0	0	3.42	7.63	7.63	10.61

(Sumber : PT. Citra Mas, 2013)

Berikut ini pemodelan kapal FSO Arco Ardjuna saat *free floating* dan tertambat serta SPM saat *free floating* dengan menggunakan Ansys Aqwa:



Gambar 4.5 Pemodelan FSO tanpa *mooring* dengan menggunakan Ansys Aqwa



Gambar 4.6 Pemodelan SPM tanpa *mooring* dengan menggunakan Ansys Aqwa

Pemodelan dengan menggunakan Ansys Aqwa dilakukan dengan 4 variasi yaitu kondisi *full load* tanpa mooring, *full load* dengan mooring, *light load* tanpa mooring dan *light load* dengan mooring. Setelah pemodelan FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan Ansys Aqwa maka perlu adanya validasi terhadap data hidrostatik dengan perbandingan antara data dengan pemodelan.

Berikut ini adalah tabel perbandingan data hidrostatis hasil pemodelan dengan data yang didapat dari PT. Citra Mas.

Tabel 4.7 Perbandingan data hidrostatis pemodelan Ansys Aqwa dengan data kapal FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

No	Data	Unit	FSO	Ansys Aqwa	Koreksi	Status
1	LOA	m	142.600	142.600	0.00%	Memenuhi
2	B	m	48.200	48.200	0.00%	Memenuhi
3	H	m	26.500	26.500	0.00%	Memenuhi
4	T	m	24.000	24.000	0.00%	Memenuhi
5	LCB from <i>midship</i>	m	-2.780	-2.795	0.54%	Memenuhi
6	LCF from <i>midship</i>	m	-2.790	-2.774	0.58%	Memenuhi
7	<i>Waterplane area</i>	m ²	6239.000	6233.803	0.08%	Memenuhi
8	Volume	m ³	149293.659	149668.300	0.25%	Memenuhi

Tabel 4.8 Perbandingan data hidrostatis pemodelan Ansys Aqwa dengan data kapal FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*

No	Data	Unit	FSO	Ansys Aqwa	Correction	Status
1	LOA	m	142.600	142.600	0.00%	Memenuhi
2	B	m	48.200	48.200	0.00%	Memenuhi
3	H	m	26.500	26.500	0.00%	Memenuhi
4	T	m	2.500	2.500	0.00%	Memenuhi
5	LCB from <i>midship</i>	m	-2.690	-2.709	0.71%	Memenuhi
6	LCF from <i>midship</i>	m	-2.790	-2.790	0.02%	Memenuhi
7	<i>Waterplane area</i>	m ²	6239.000	6227.313	0.19%	Memenuhi
8	Volume	m ³	15009.756	15009.756	0.00%	Memenuhi

Hasil perhitungan hidrostatis yang diperoleh berdasarkan Ansys Aqwa sudah menunjukkan kesesuaian dengan hidrostatis data FSO Arco Ardjuna dimana perbedaannya < 5%. Setelah model keluaran Ansys Aqwa telah di koreksi dan hasilnya telah memenuhi syarat, maka hasil keluaran running Ansys Aqwa telah valid digunakan untuk analisis selanjutnya.

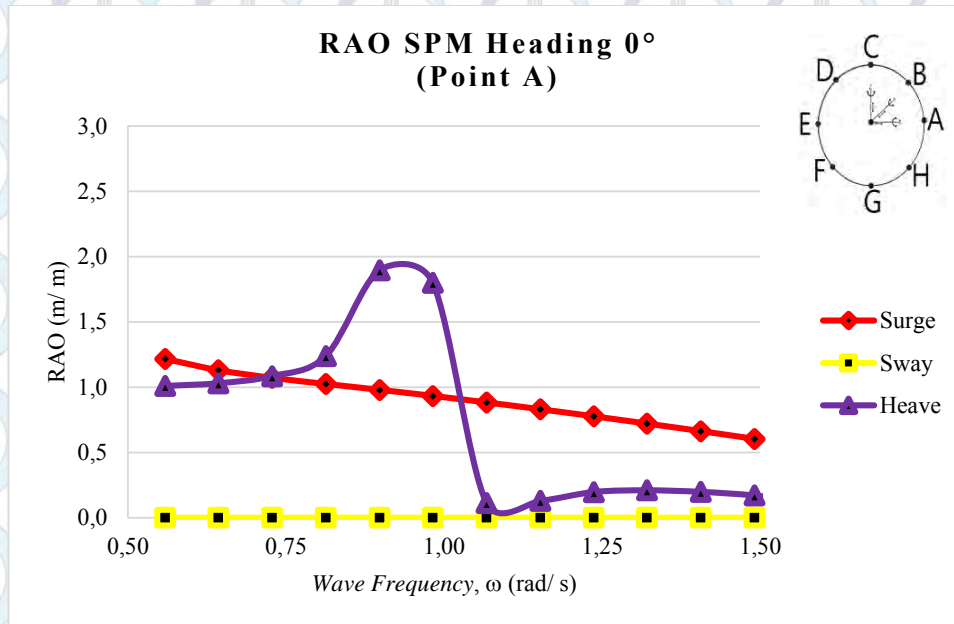
4.5 Response Amplitude Operator [RAO]

Pemodelan dengan Ansys Aqwa 14.5 menghasilkan *output* berupa RAO. Adapun hasil RAO motion FSO Arco Ardjuna untuk arah 0° , 45° , 90° dan 180° . Respon gerakan yang terjadi untuk masing-masing arah pembebanan (*heading*) dibagi menjadi 2 yaitu, RAO translasional dan RAO rotasional. Dimana untuk RAO translasional meliputi gerakan *surge*, *sway*, dan *heave*, dengan satuan (m/m). Sedangkan untuk RAO rotasional meliputi gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*, dengan satuan (deg/m). Grafik RAO dibawah ini dimulai dari frekuensi gelombang 0.543 rad/sec, nilai ini dapat digunakan karena berdasarkan data lingkungan diketahui periode gelombang signifikan 8.3 sekon, maka diperoleh frekuensi gelombang (ω) 0.757 rad/sec, sehingga RAO pada frekuensi gelombang 0.543 rad/sec dapat digunakan sebagai frekuensi gelombang awal yang ditinjau grafik RAO dari masing-masing gerakan.

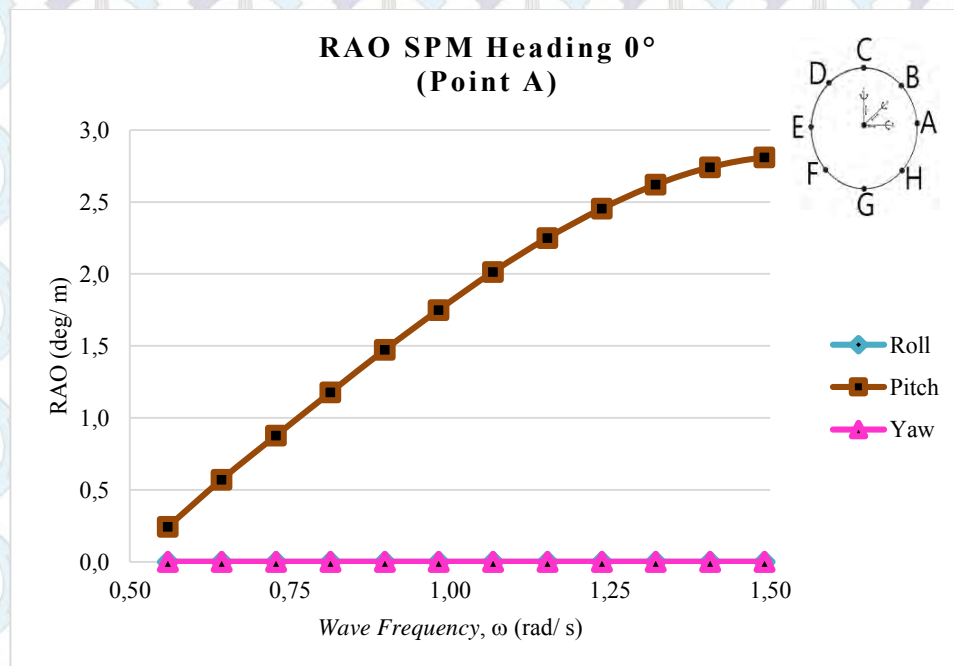
4.5.1 RAO SPM Kondisi *Free Floating*

Perhitungan RAO pada SPM dilakukan pada sarat 2.38 m, dengan kedalaman laut 45 m. Grafik RAO pada SPM dilakukan untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Karena bentuk SPM silinder dan homogen maka pada semua *heading* memiliki grafik yang sama. Selanjutnya adalah grafik RAO SPM pada kondisi free floating, tertambat dengan FSO kondisi *full load*, dan tertambat dengan FSO kondisi *light load*. Berikut pembahasannya:

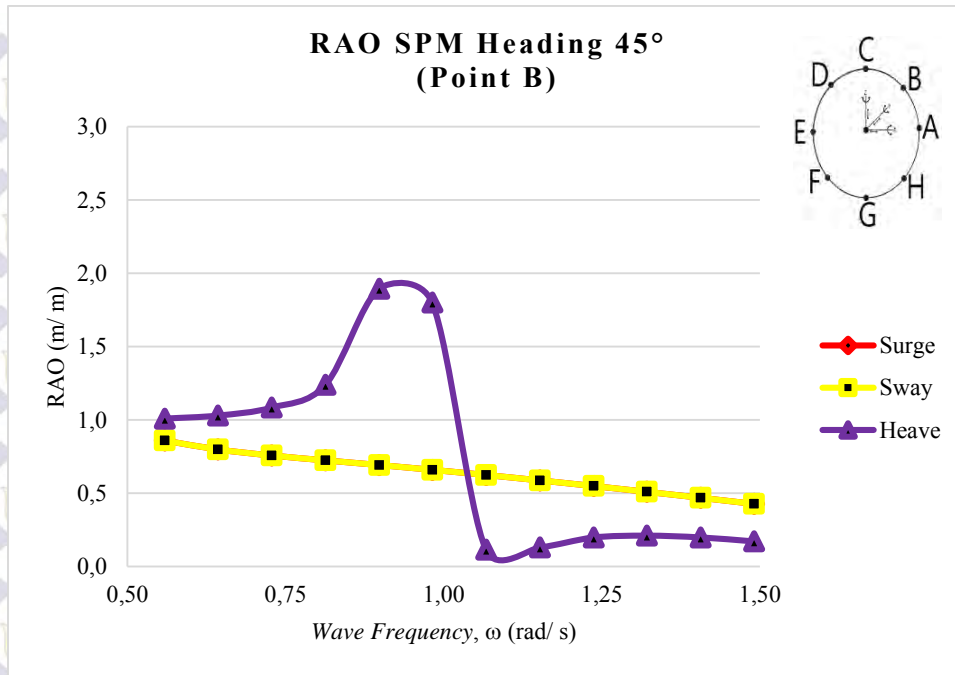
4.5.1.1 Grafik RAO SPM Kondisi *Free Floating*



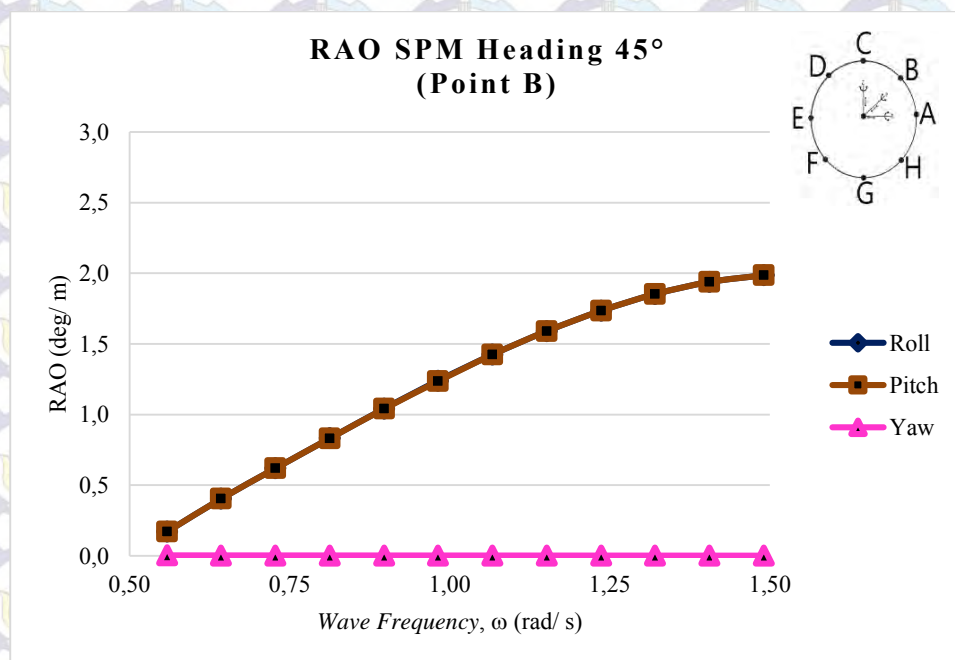
Gambar 4.7 Grafik RAO translasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah heading 0°



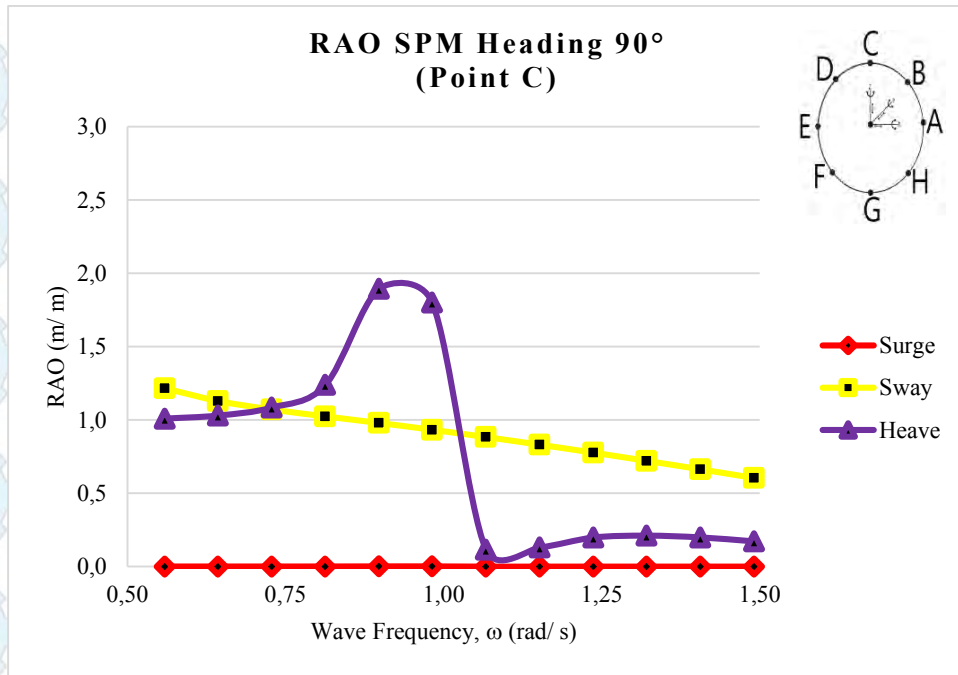
Gambar 4.8 Grafik RAO rotasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah heading 0°



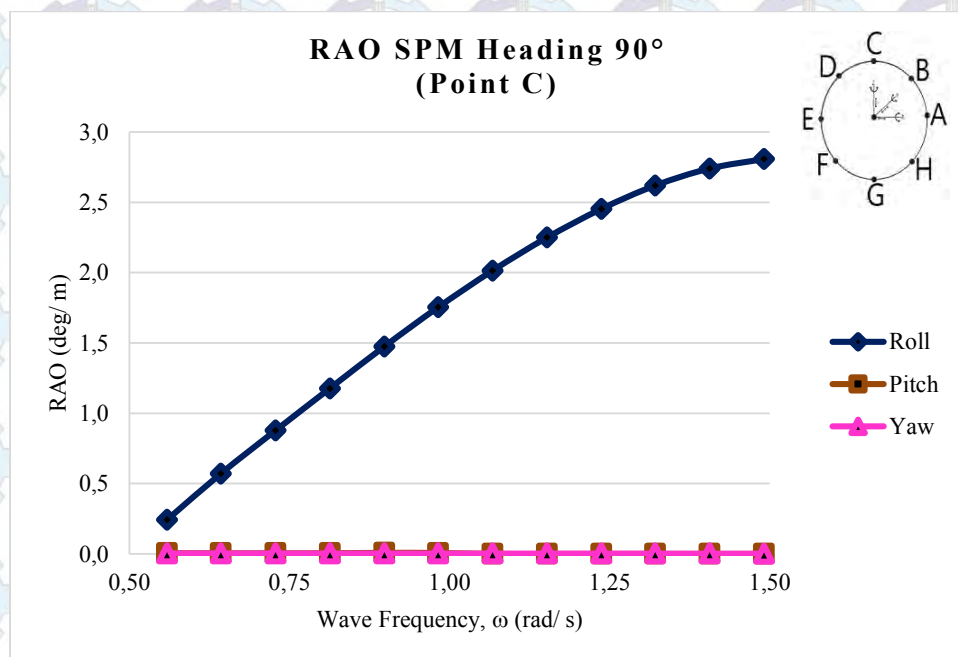
Gambar 4.9 Grafik RAO translasional saat free floating untuk SPM dengan arah heading 45°



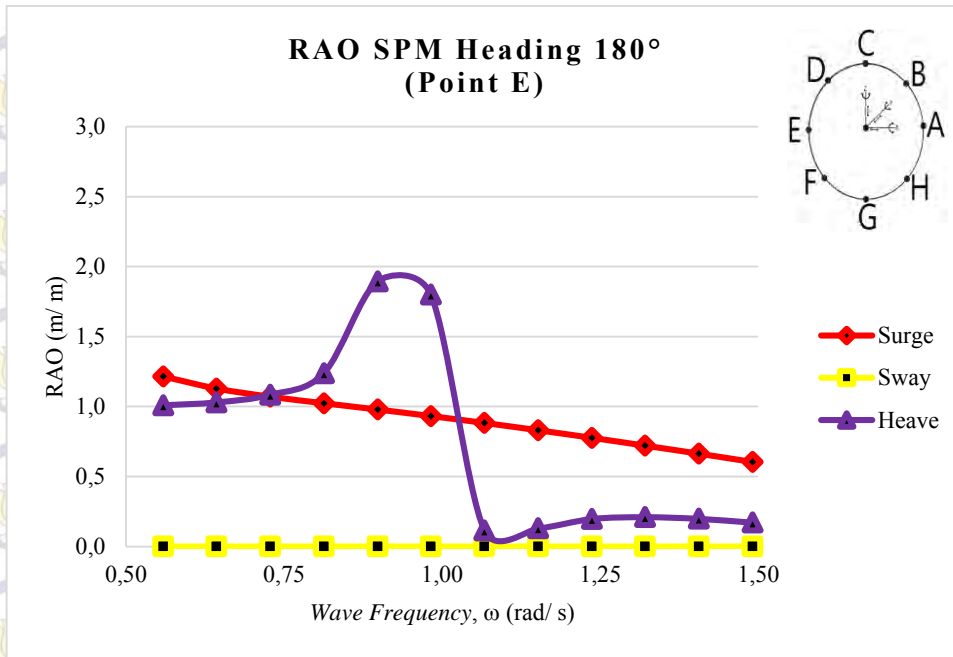
Gambar 4.10 Grafik RAO rotasional saat free floating untuk SPM dengan arah heading 45°



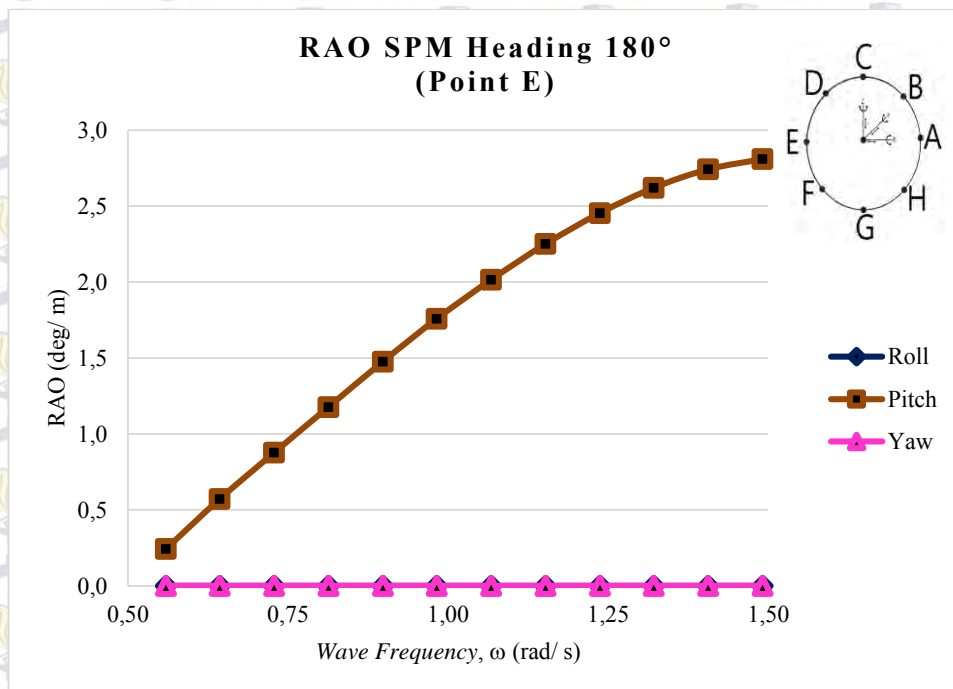
Gambar 4.11 Grafik RAO translasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.12 Grafik RAO rotasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.13 Grafik RAO translasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah *heading* 180°



Gambar 4.14 Grafik RAO rotasional saat *free floating* untuk SPM dengan arah *heading* 180°

Tabel 4.9 Nilai maksimum RAO SPM Kondisi *Free Floating*

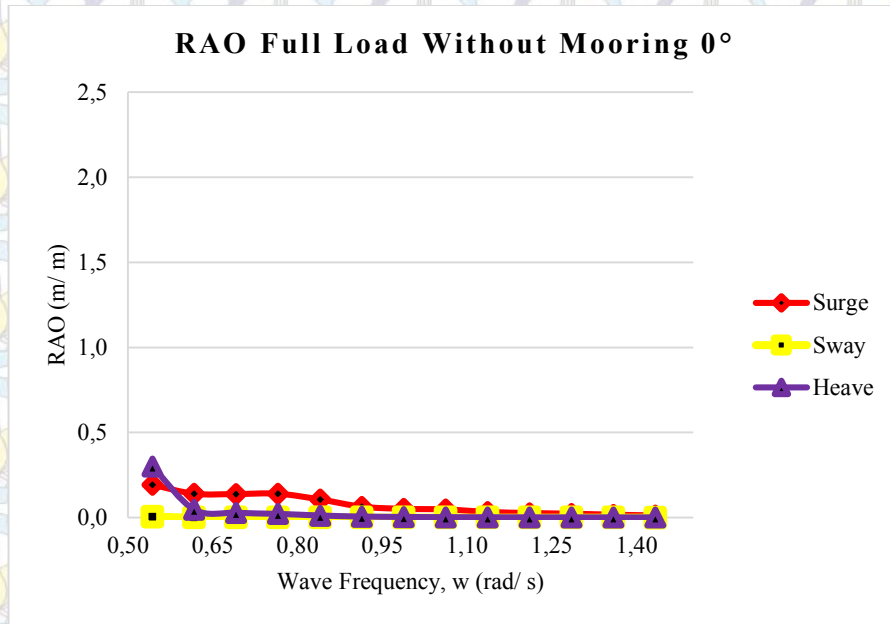
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	1.215	0.859	0.000	1.215	1.215
<i>Sway</i>	m/m	0.000	0.859	1.215	0.000	1.215
<i>Heave</i>	m/m	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895
<i>Roll</i>	deg/m	0.000	1.986	2.808	0.000	2.808
<i>Pitch</i>	deg/m	2.808	1.986	0.007	2.808	2.808
<i>Yaw</i>	deg/m	0.000	0.002	0.003	0.000	0.003

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 1.215 (m/m) yaitu pada *heading* 180°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 1.215 (m/m), dan *heave* mempunyai nilai maksimum yang sama dari masing-masing *heading* sebesar 1.895 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 2.808 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 2.808 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.003 (deg/m) pada *heading* 90°.

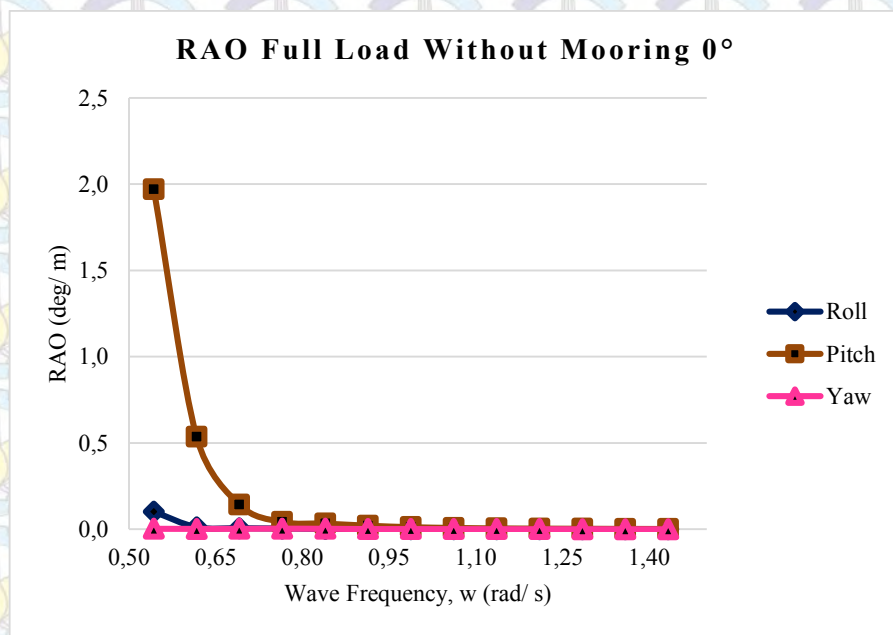
4.5.2 RAO FSO Arco Ardjuna

Perhitungan RAO pada FSO Arco Ardjuna saat *free floating* dan tertambat pada sarat 24 m untuk kondisi *full load* dan sarat 2.5 m untuk kondisi *light load*, dengan kedalaman laut 45 m. Grafik RAO pada FSO Arco Ardjuna dilakukan untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Selanjutnya adalah grafik RAO SPM pada kondisi *free floating*, tertambat dengan FSO kondisi *full load*, dan tertambat dengan FSO kondisi *light load*. Berikut pembahasannya:

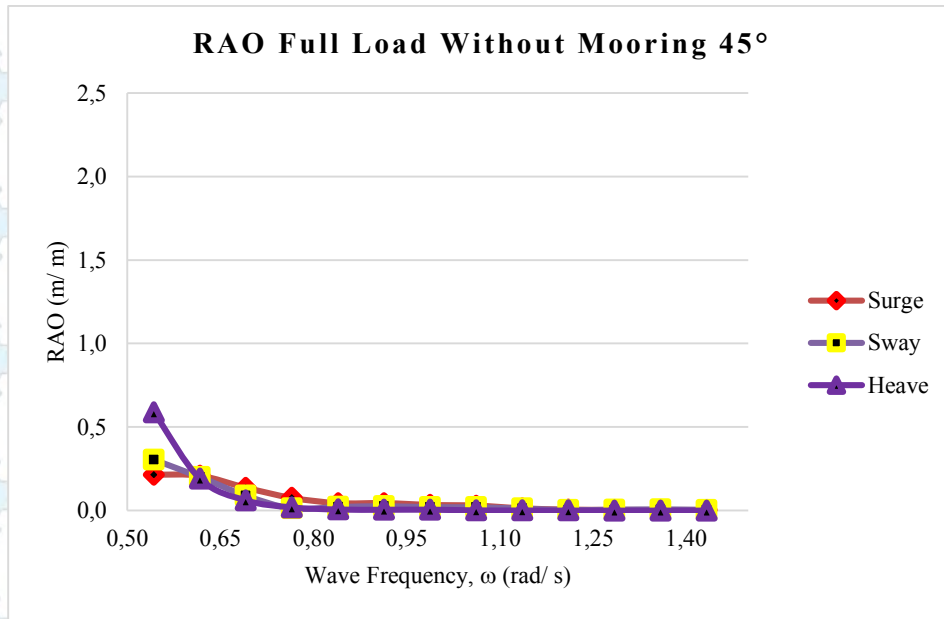
4.5.2.1 RAO FSO *Free Floating* Kondisi *Full Load*



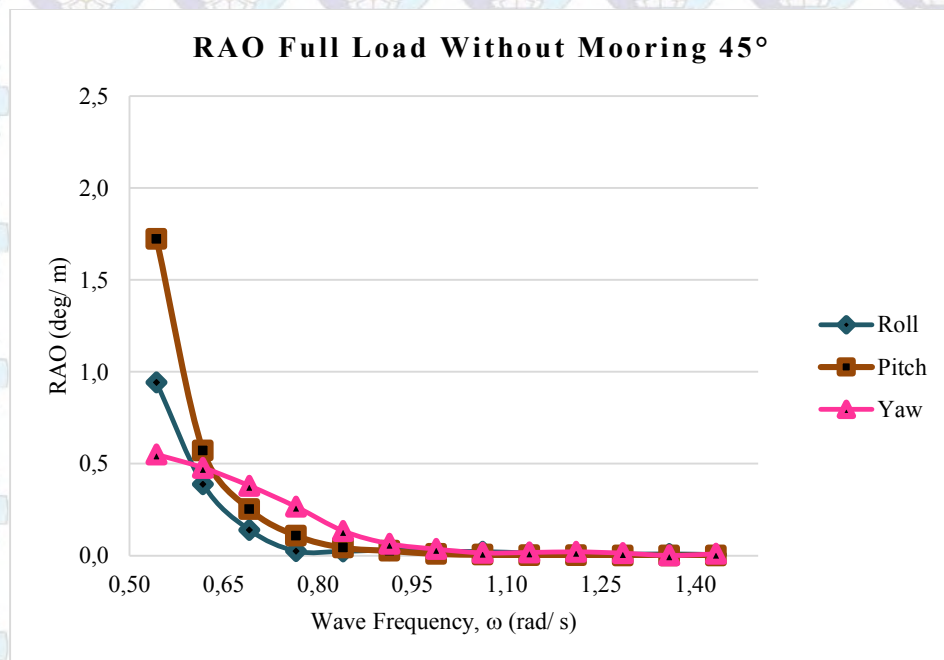
Gambar 4.15 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 0°



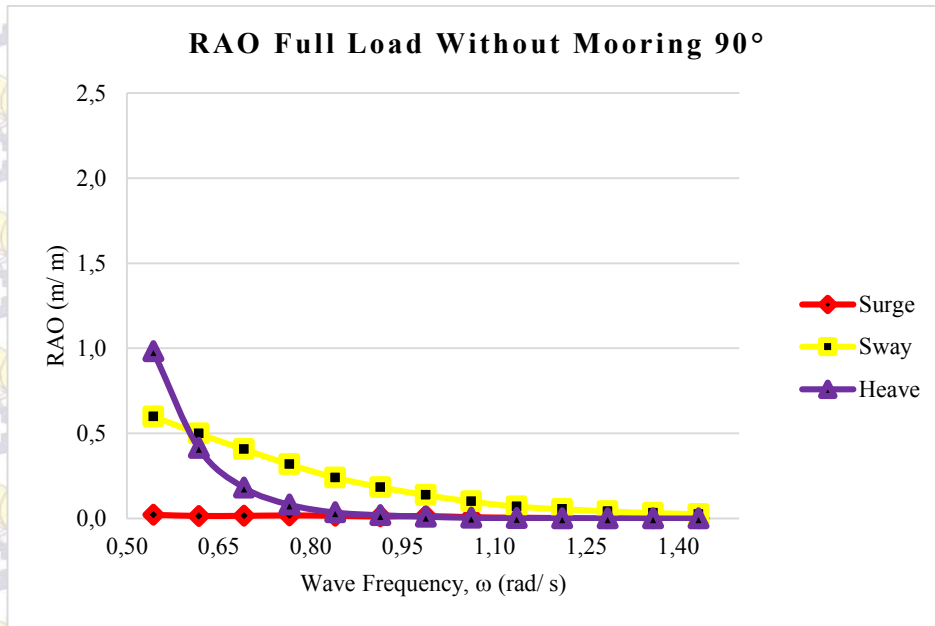
Gambar 4.16 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 0°



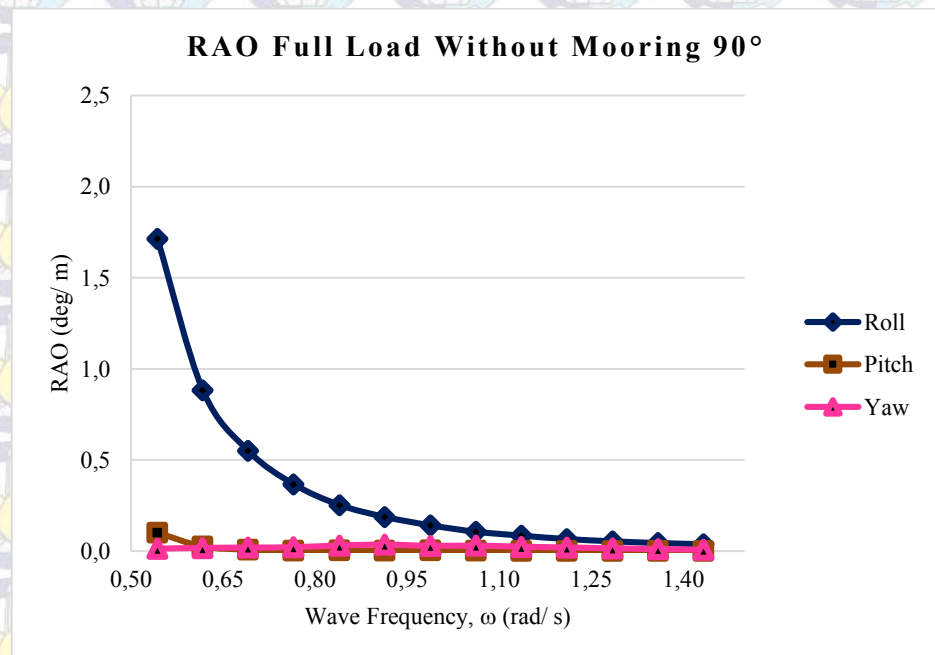
Gambar 4.17 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 45°



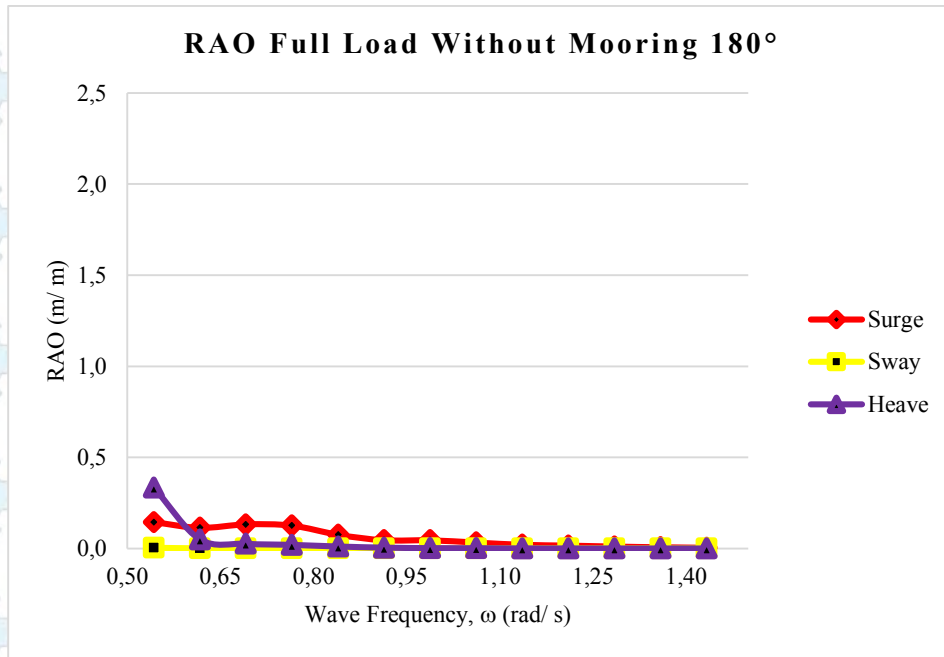
Gambar 4.18 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 45°



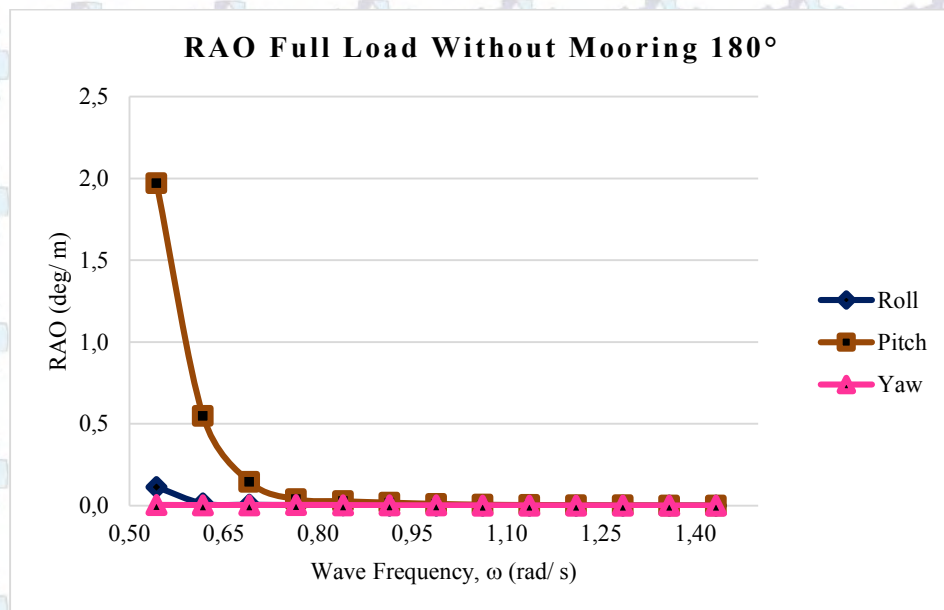
Gambar 4.19 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.20 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.21 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 180°



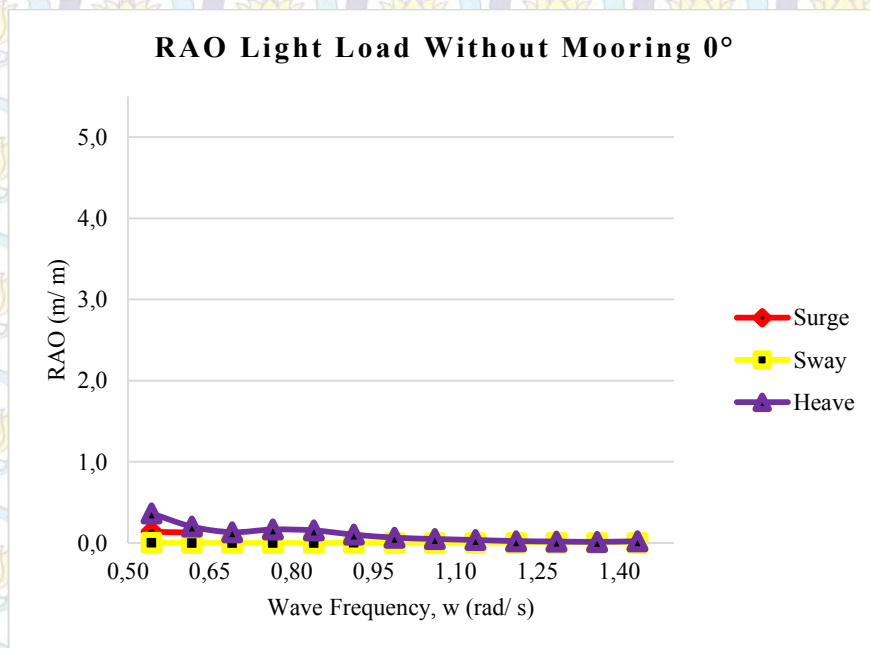
Gambar 4.22 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 180°

Tabel 4.10 Nilai RAO FSO maksimum *Free Floating* Kondisi *Full Load*

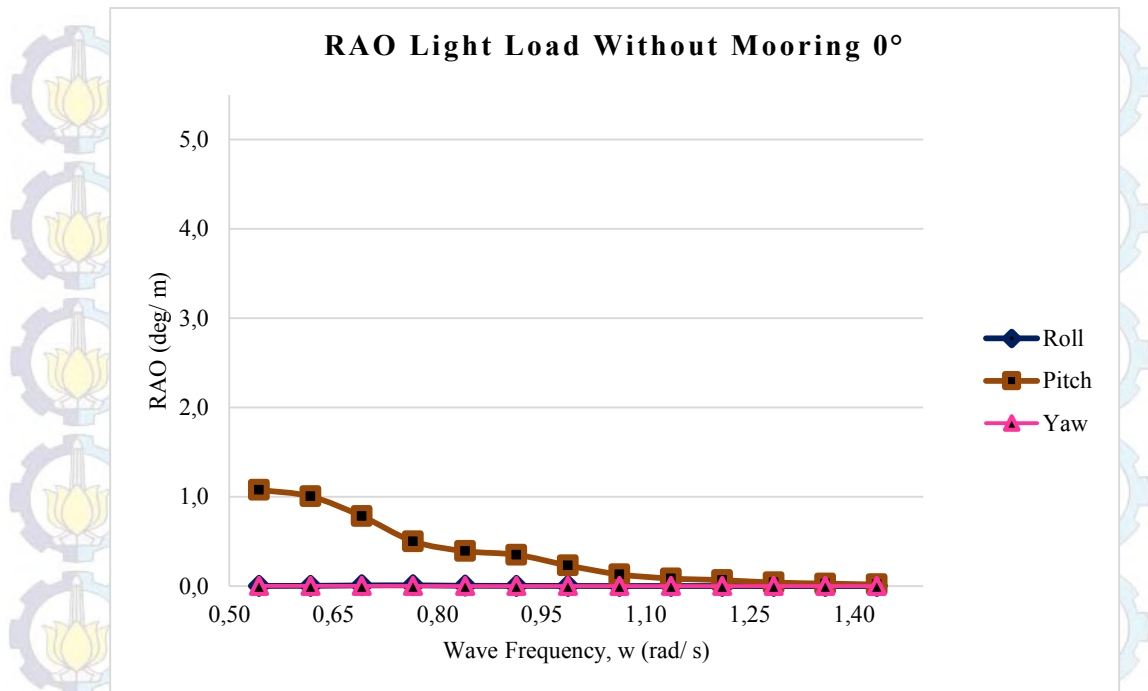
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.214	0.193	0.021	0.145	0.214
<i>Sway</i>	m/m	0.004	0.305	0.600	0.005	0.600
<i>Heave</i>	m/m	0.301	0.588	0.982	0.335	0.982
<i>Roll</i>	deg/m	0.102	0.941	1.714	0.114	1.714
<i>Pitch</i>	deg/m	1.970	1.722	0.101	1.971	1.971
<i>Yaw</i>	deg/m	0.003	0.550	0.035	0.003	0.550

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.214 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.600 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.982 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 1.714 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1.971 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.550 (deg/m) pada *heading* 45°.

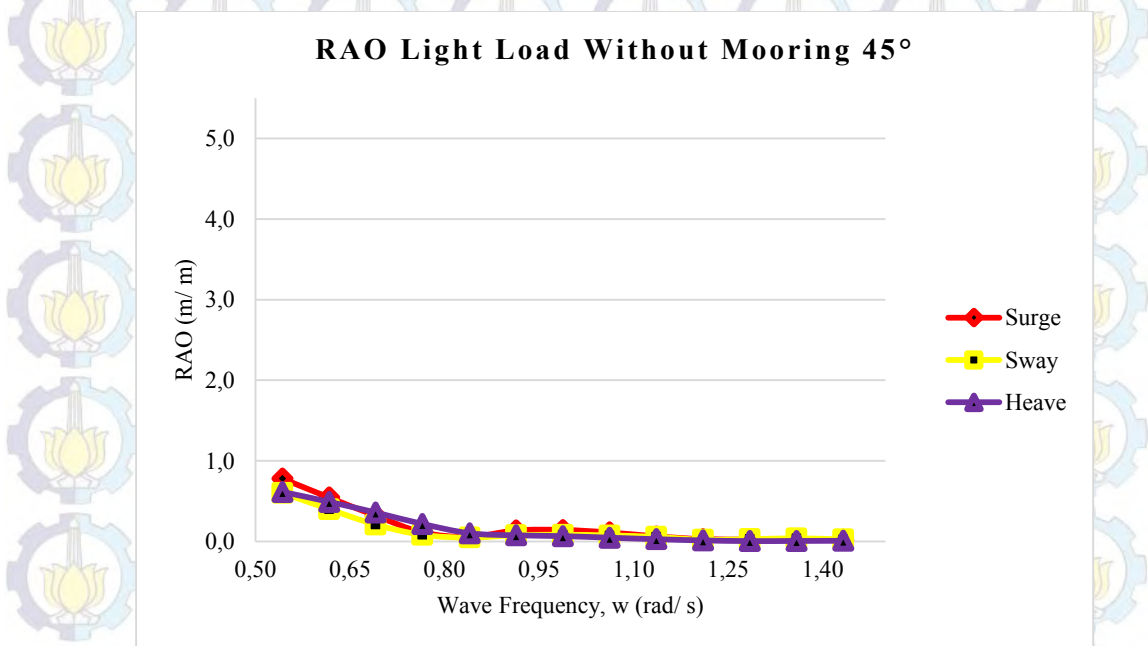
4.5.2.2 RAO FSO *Free Floating* Kondisi *Light Load*



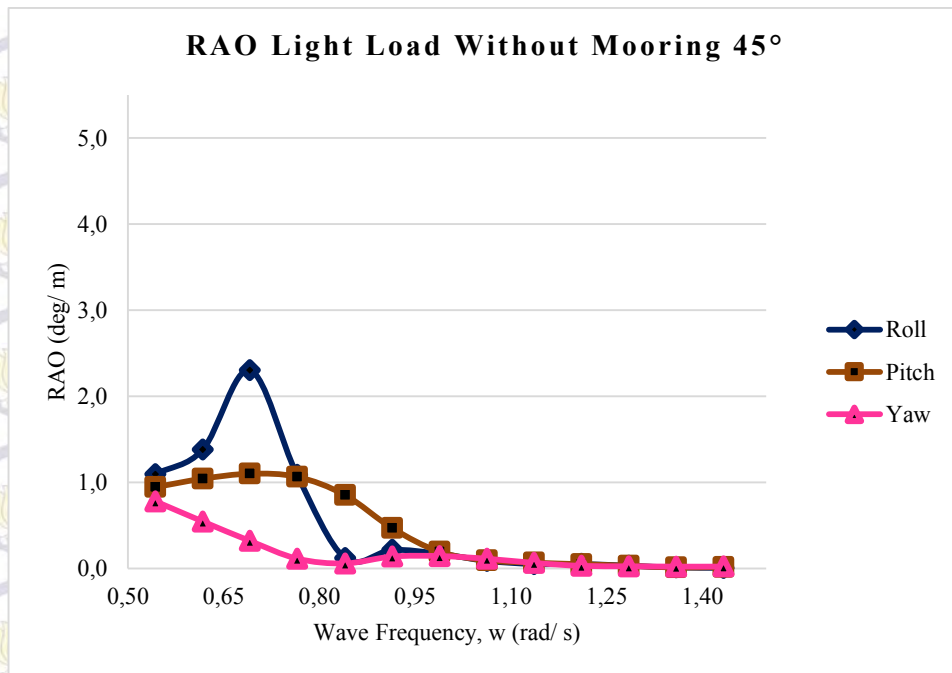
Gambar 4.23 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 0°



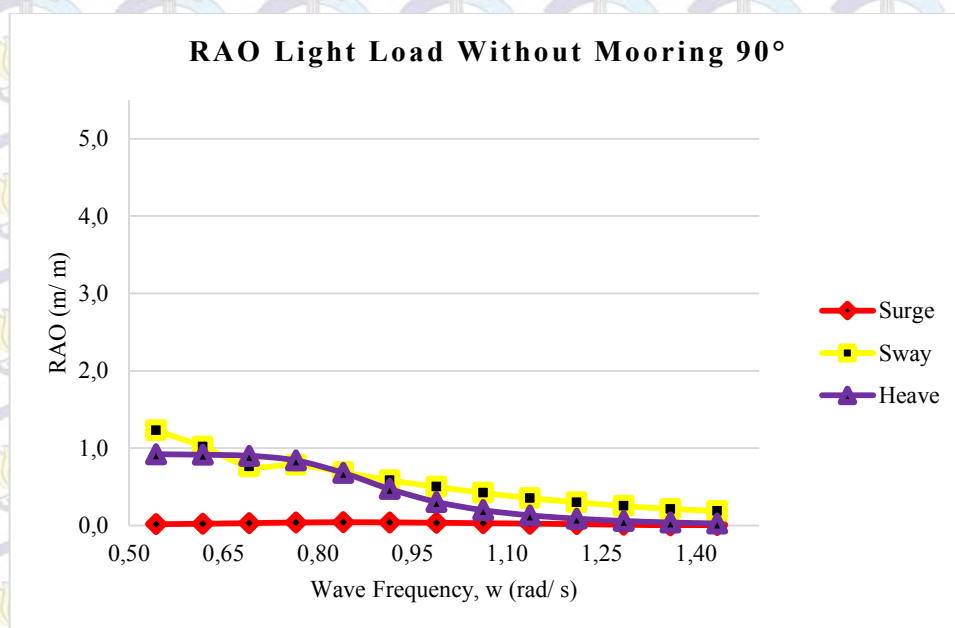
Gambar 4.24 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 0°



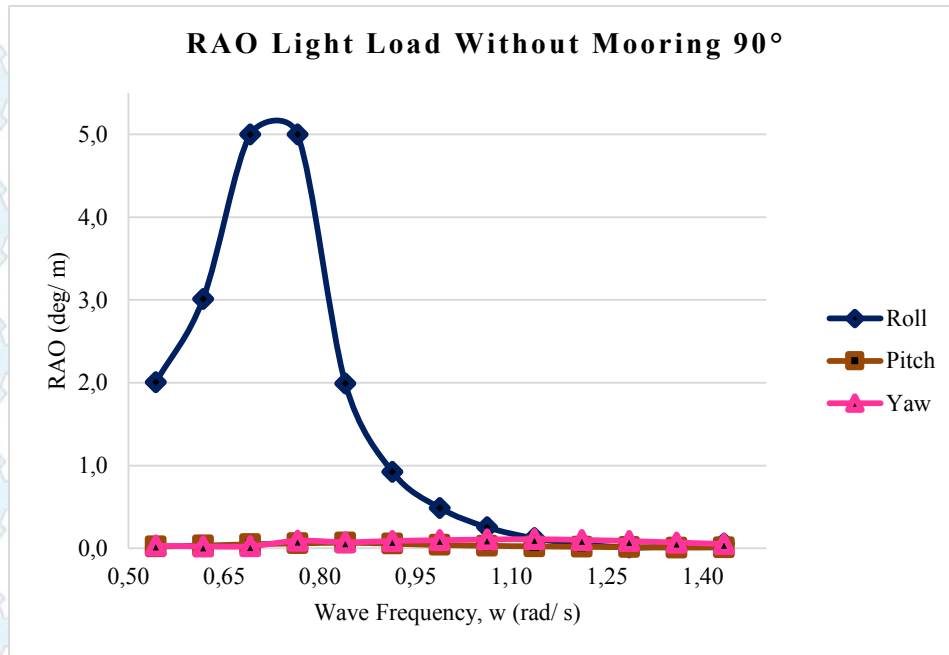
Gambar 4.25 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 45°



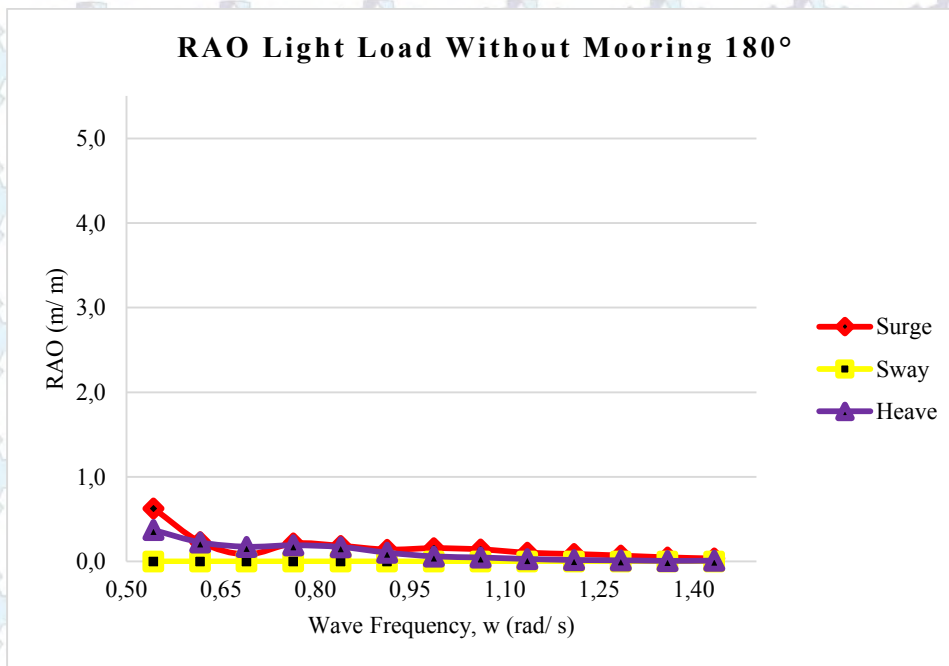
Gambar 4.26 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 45°



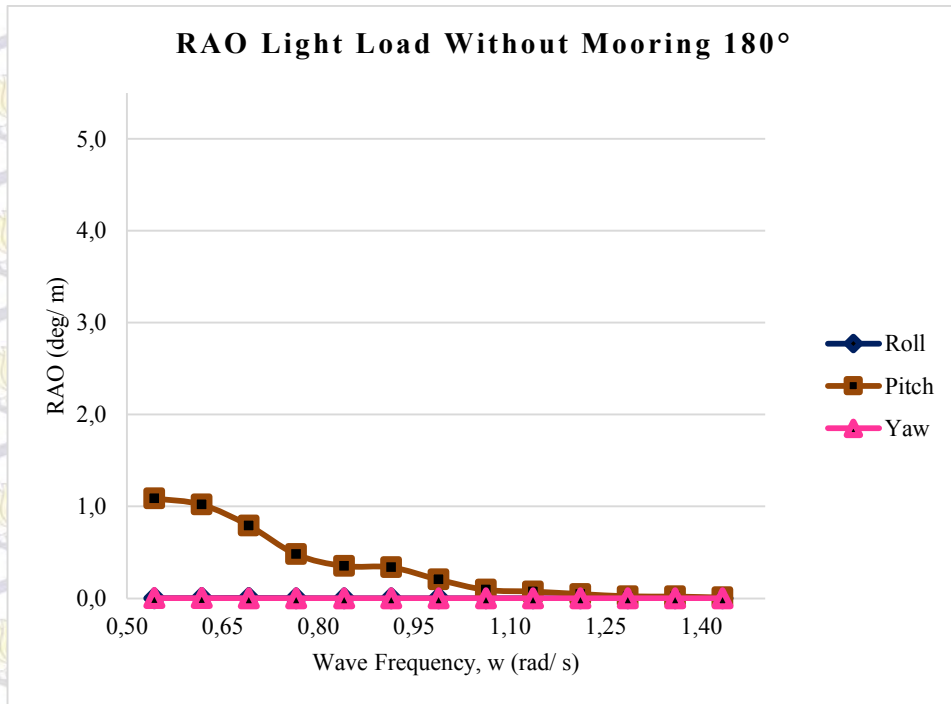
Gambar 4.27 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.28 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.29 Grafik RAO translasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 180°



Gambar 4.30 Grafik RAO rotasional saat *free floating* pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 180°

Tabel 4.11 Nilai maksimum RAO FSO *Free Floating* Kondisi *Light Load*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.779	0.625	0.042	0.628	0.779
<i>Sway</i>	m/m	0.001	0.602	1.229	0.001	1.229
<i>Heave</i>	m/m	0.366	0.615	0.921	0.372	0.921
<i>Roll</i>	deg/m	0.008	2.302	5.000	0.004	5.000
<i>Pitch</i>	deg/m	1.077	1.099	0.068	1.088	1.099
<i>Yaw</i>	deg/m	0.002	0.779	0.110	0.002	0.779

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.779 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 1.229 (m/m), dan tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.921 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 5.000 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1.099 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.779 (deg/m) pada *heading* 45°.

4.5.3 Mooring Analysis

4.5.3.1 Penentuan Panjang Minimum *Anchor Line* pada SPM

Panjang minimum *anchor line* adalah 304.434 m. Nilai tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan Flantinsen, yaitu persamaan tentang hubungan panjang tali dengan offset x , berikut adalah persamaan yang digunakan

$$x = l - h \left(1 + 2 \frac{a}{h} \right)^{\frac{1}{2}} + a \operatorname{Cos} h^{-1} \left(1 + \frac{h}{a} \right)$$

dengan :

x = panjang minimum *anchor line*

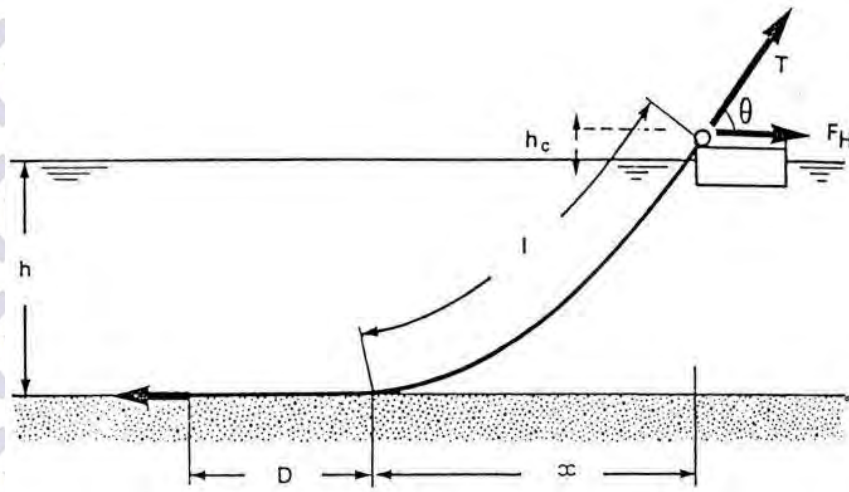
l = total panjang *mooring line* (m)

h = kedalaman air laut + freeboard (m)

a = T / W

T = *Minimum breaking load*

W = berat chain

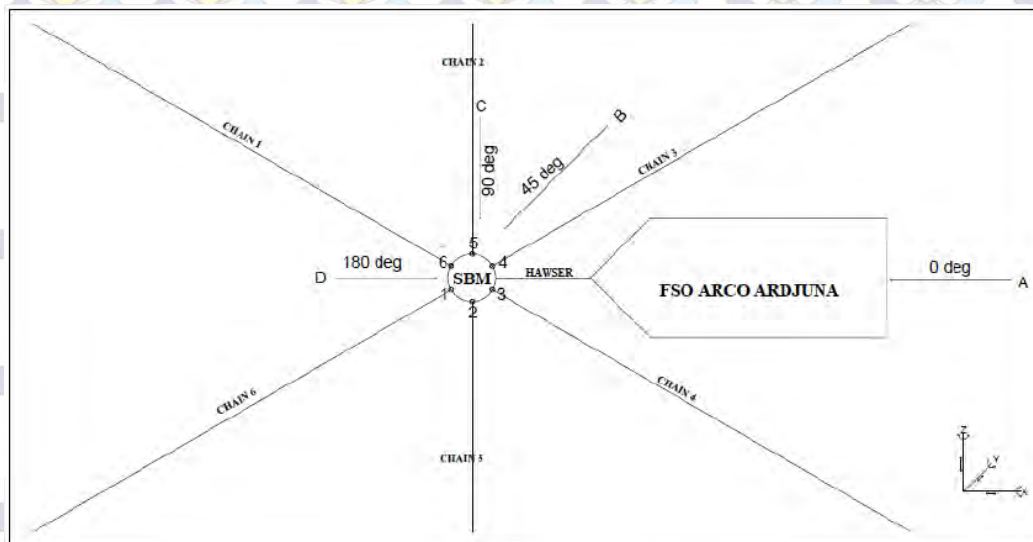


Gambar 2.31 Panjang minimum mooring line (Faltinsen, 1990)

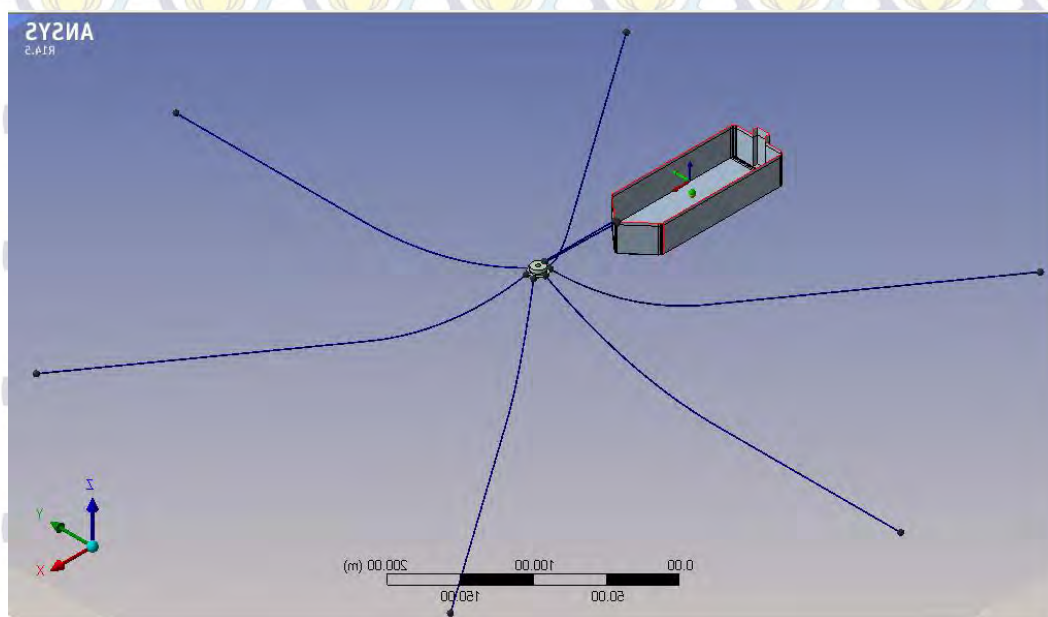
4.5.3.2 Arah Pembebanan Gelombang pada *Mooring Analysis*

Analisis *mooring* dilakukan untuk mendapatkan *output* berupa RAO SPM dan FSO serta *single amplitude acceleration structure* FSO pada kondisi *full load* dan *light load* pada masing-masing *heading* . Beban yang digunakan dalam analisis *mooring* ini adalah beban gelombang 100 tahunan (*extreme condition*),

dengan 4 arah pembebanan yaitu 0° , 45° , 90° , dan 180° seperti yang terlihat pada gambar 4.28 dibawah ini:

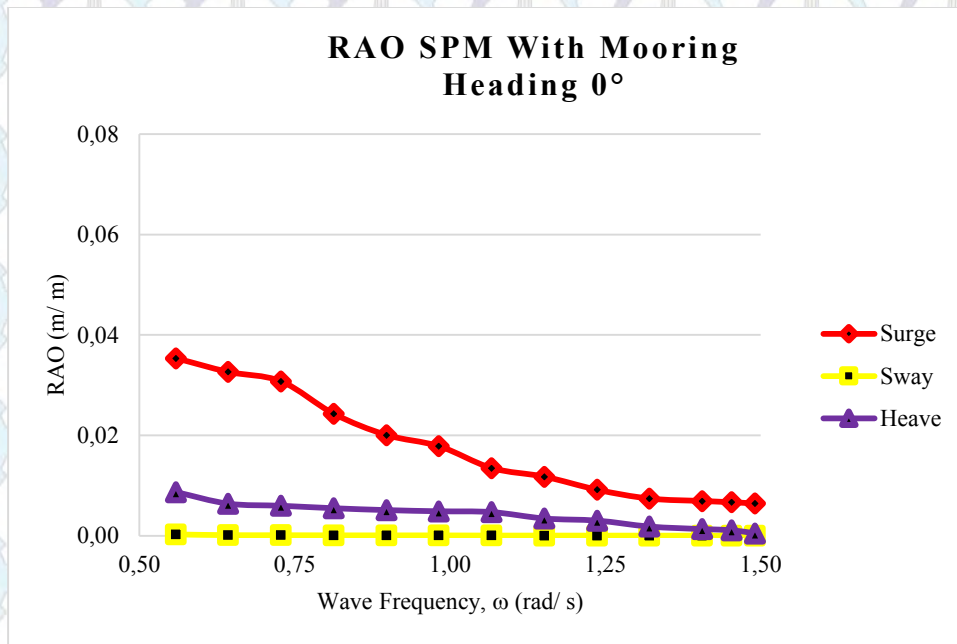


Gambar 4.32 Arah pembebanan gelombang pada *mooring analysis*

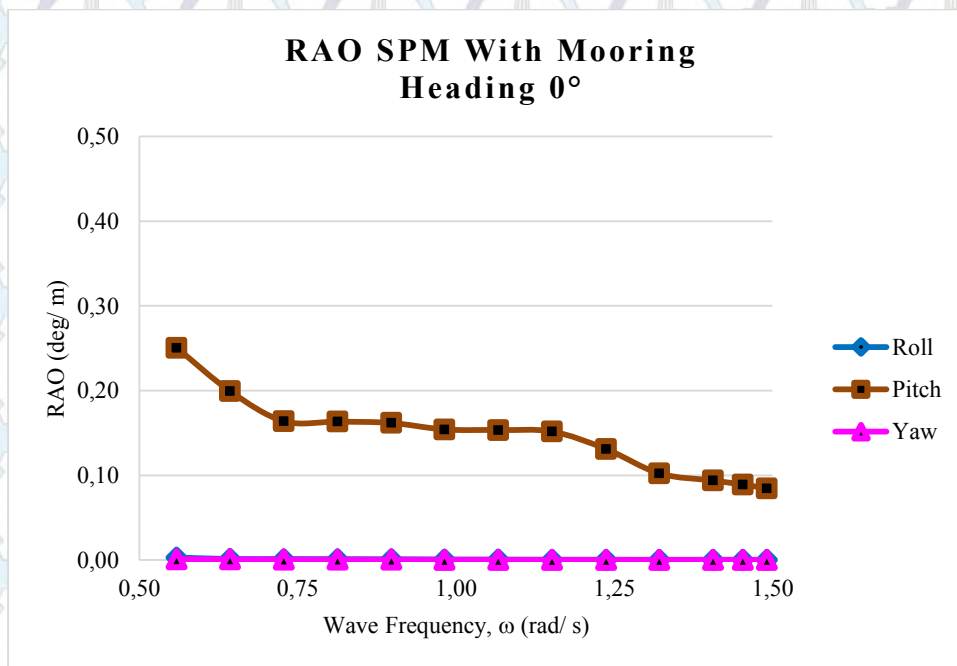


Gambar 4.33 Pemodelan FSO dengan *mooring* menggunakan Ansys Aqwa

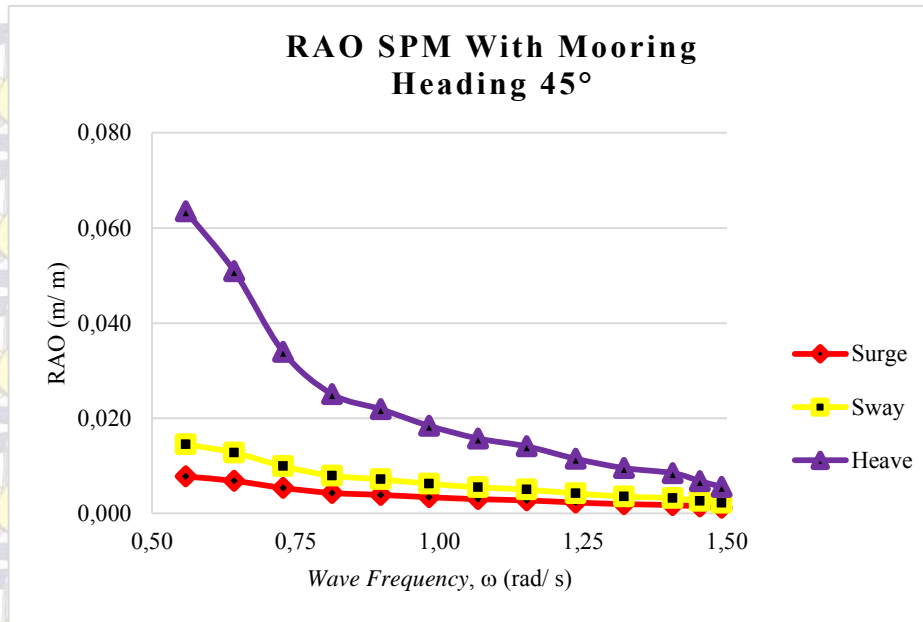
4.5.3.3 RAO SPM Tertambat Kondisi FSO *Full Load*



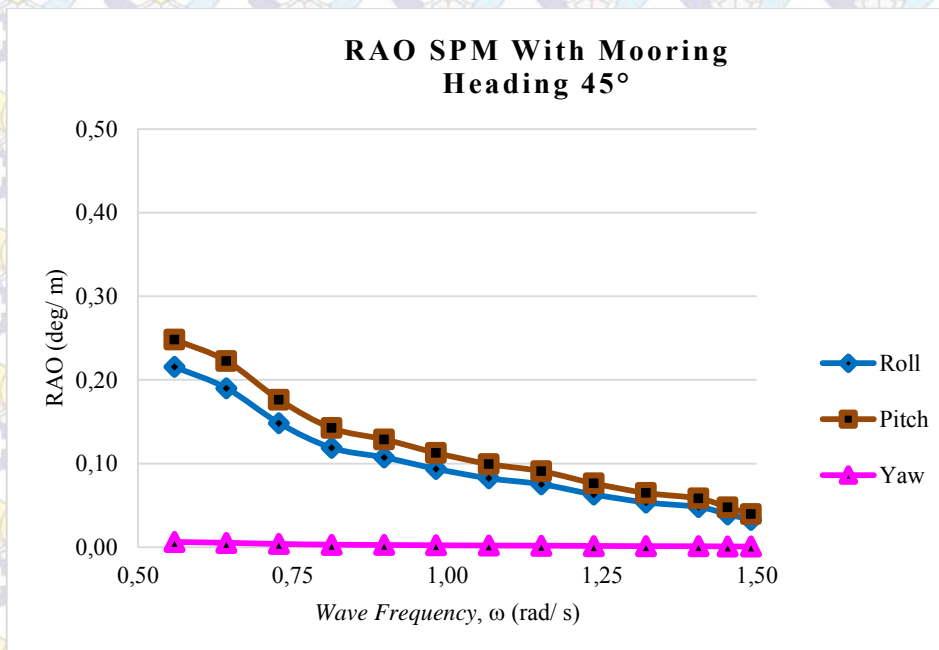
Gambar 4.34 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 0°



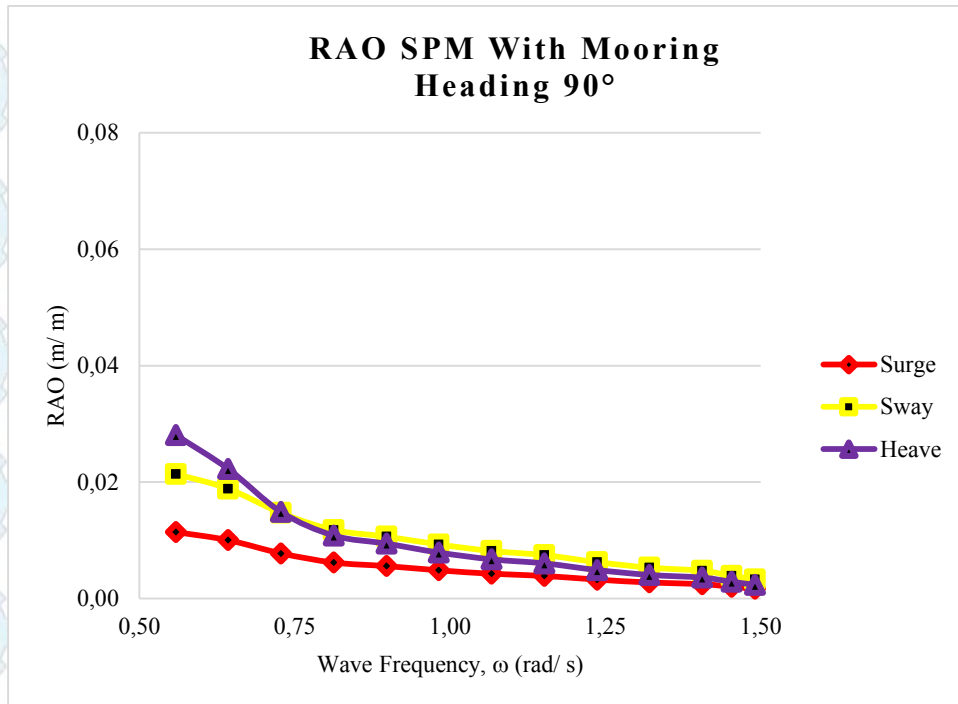
Gambar 4.35 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 0°



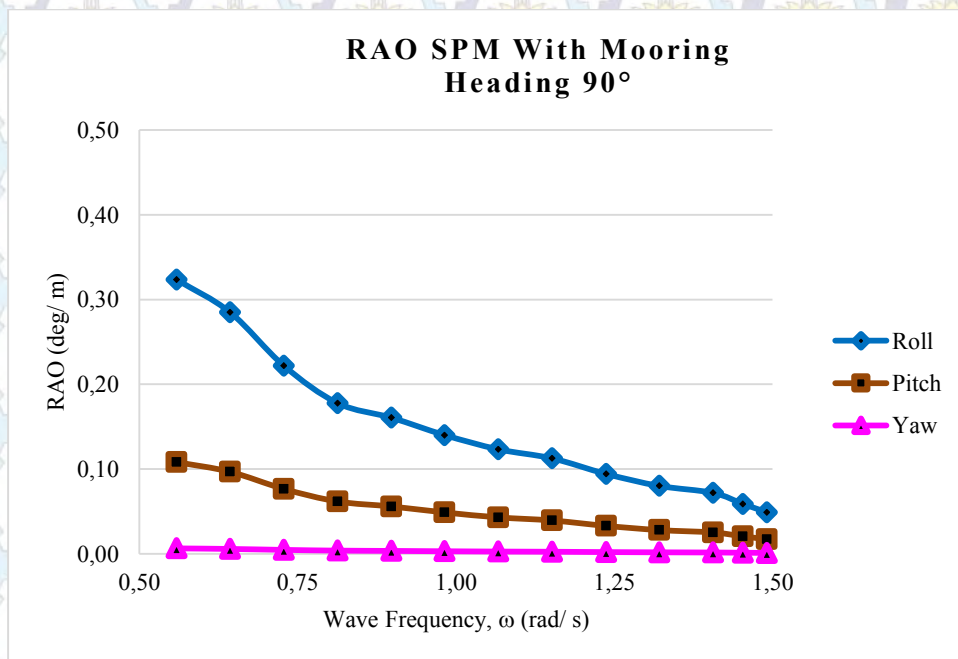
Gambar 4.36 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 45°



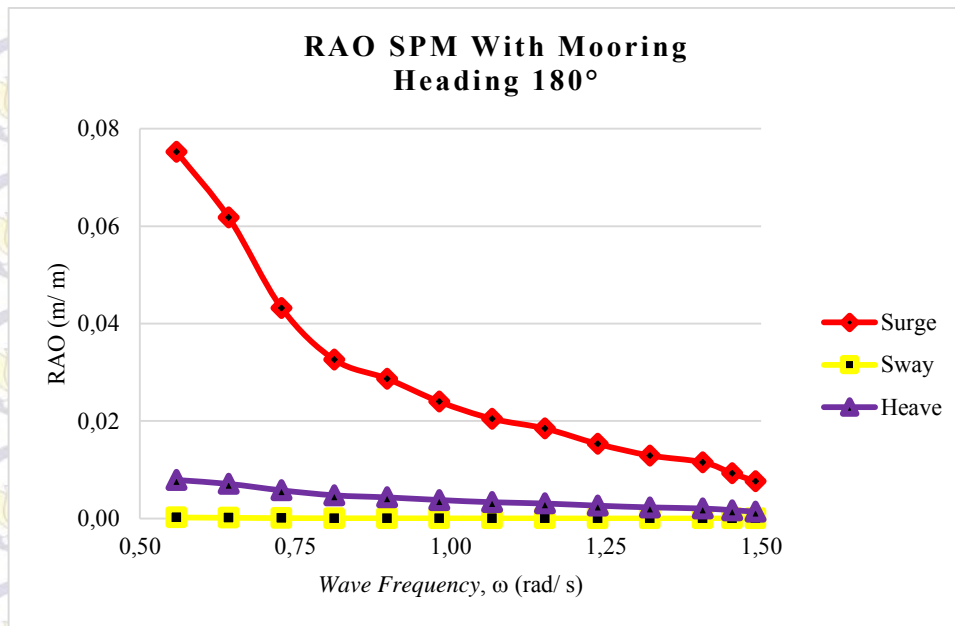
Gambar 4.37 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 45°



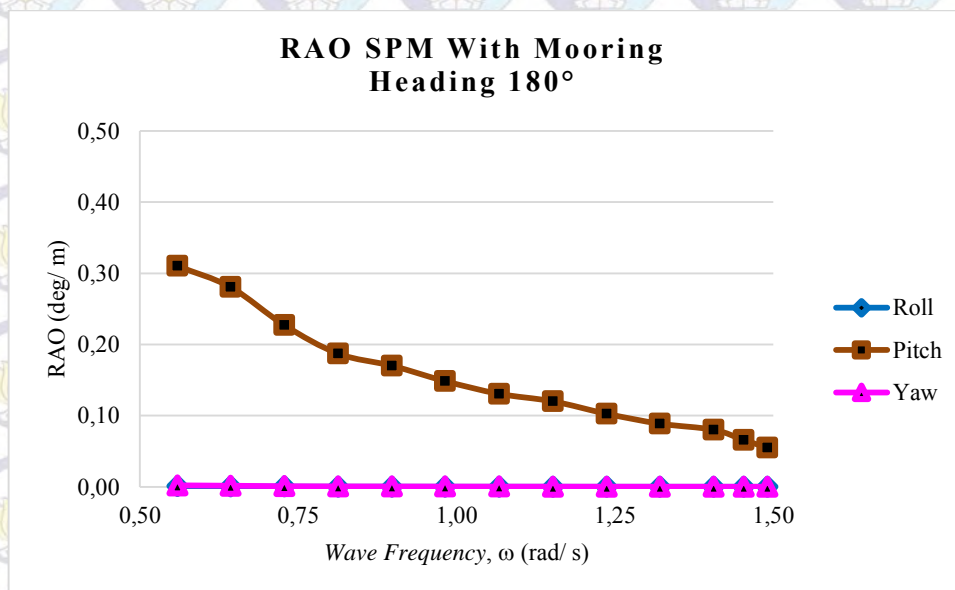
Gambar 4.38 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 90°



Gambar 4.39 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 90°



Gambar 4.40 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 180°



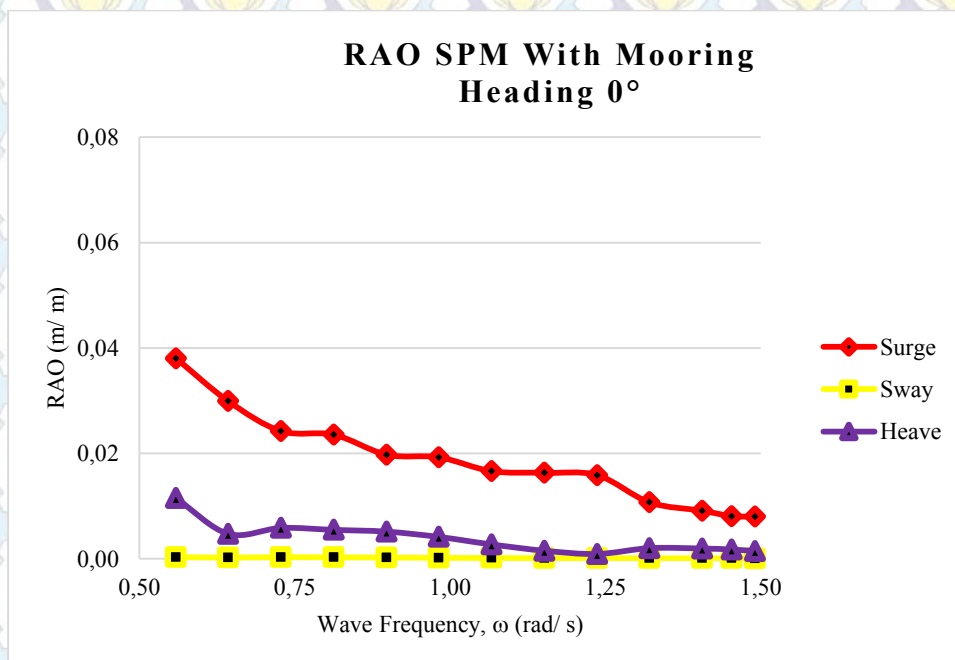
Gambar 4.41 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO *full load* dengan arah heading 180°

Tabel 4.12 Nilai maksimum RAO SPM Tertambat Kondisi FSO *Full Load*

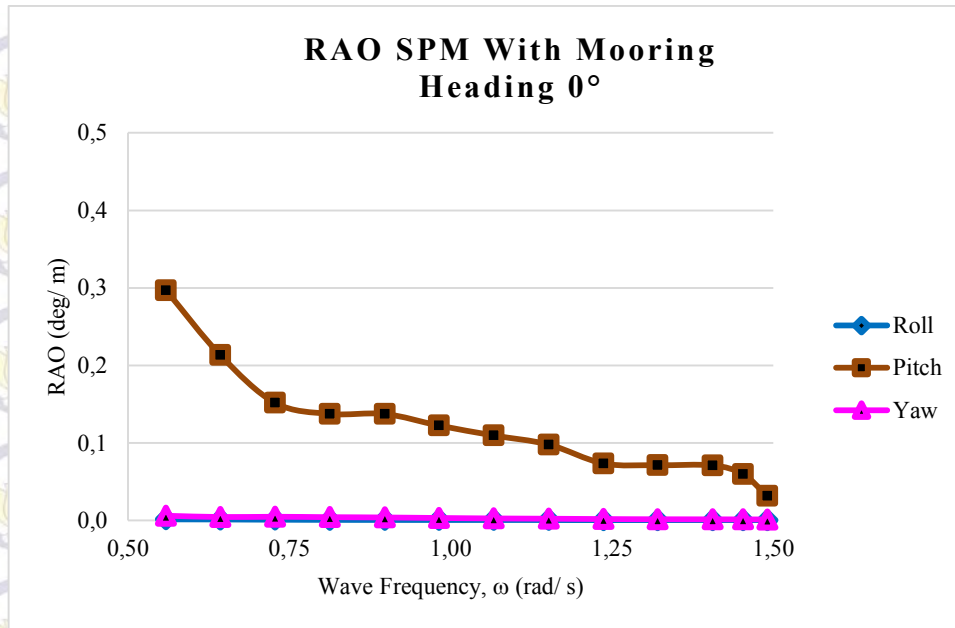
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.035	0.008	0.011	0.075	0.075
<i>Sway</i>	m/m	0.000	0.015	0.021	0.000	0.021
<i>Heave</i>	m/m	0.009	0.064	0.028	0.008	0.064
<i>Roll</i>	deg/m	0.003	0.216	0.323	0.001	0.323
<i>Pitch</i>	deg/m	0.250	0.248	0.108	0.310	0.310
<i>Yaw</i>	deg/m	0.001	0.006	0.006	0.002	0.006

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.075 (m/m) yaitu pada *heading* 180°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.021 (m/m), dan tertinggi pada *heading* 45° sebesar 10.064 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 0.323 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.310 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.006 (deg/m) pada *heading* 45° dan 90°.

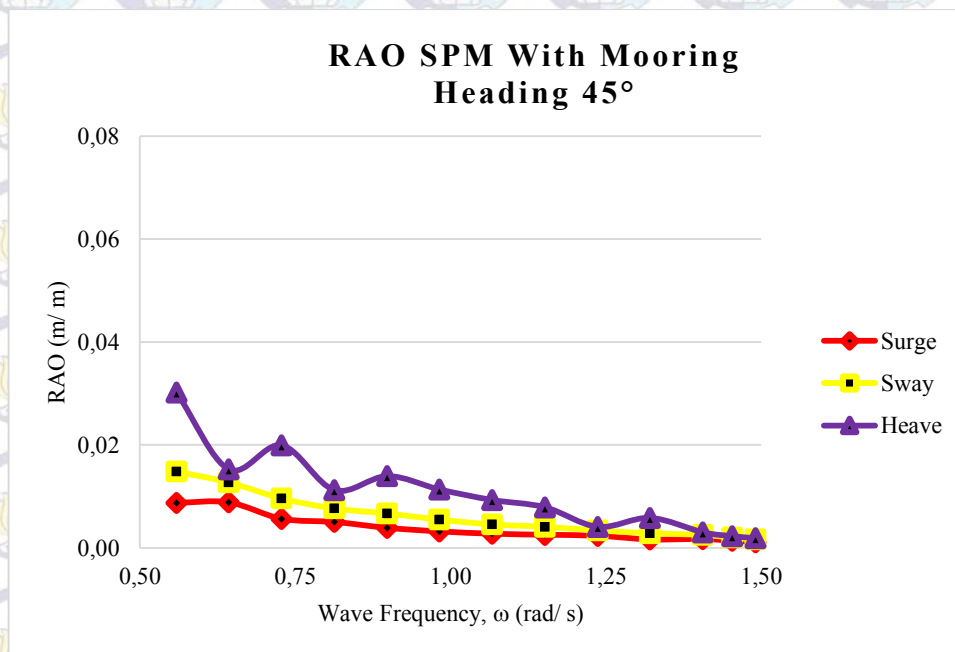
4.5.3.4 RAO SPM Tertambat Kondisi FSO *Light Load*



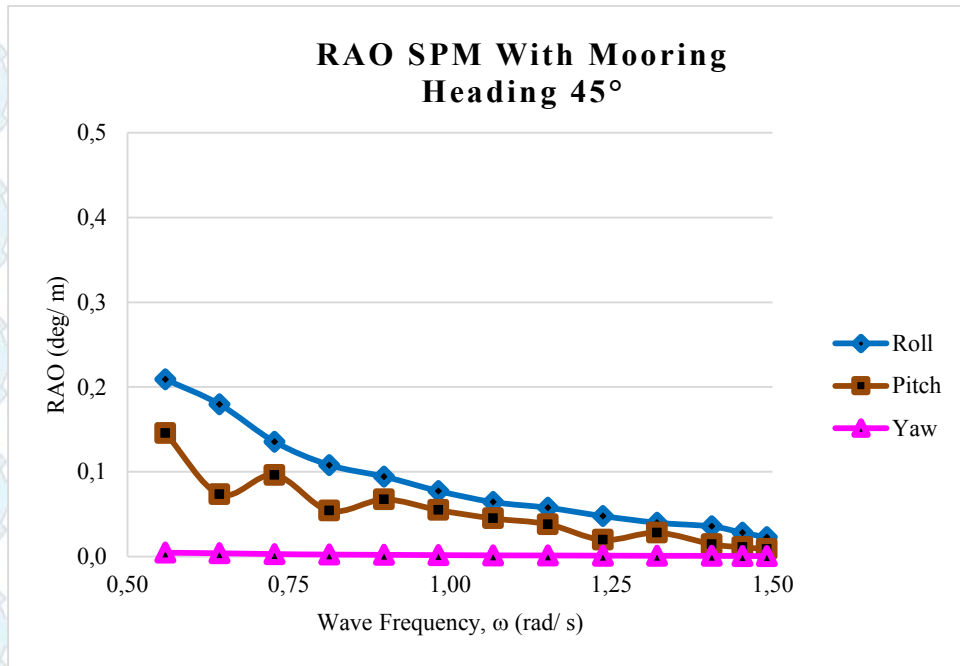
Gambar 4.42 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk *SPM* kondisi FSO *light load* dengan arah *heading* 0°



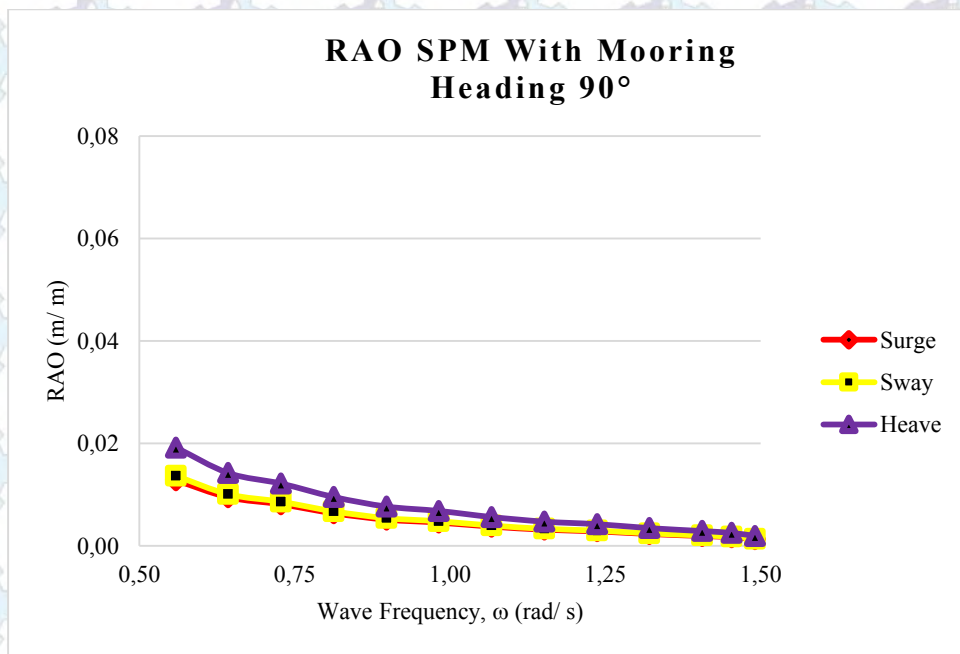
Gambar 4.43 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 0°



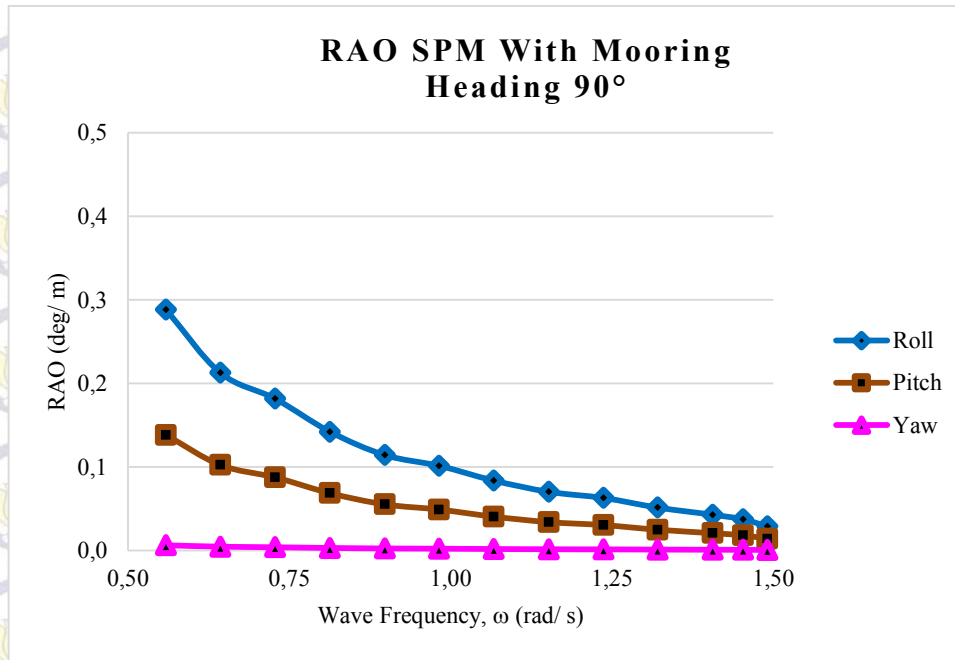
Gambar 4.44 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 45



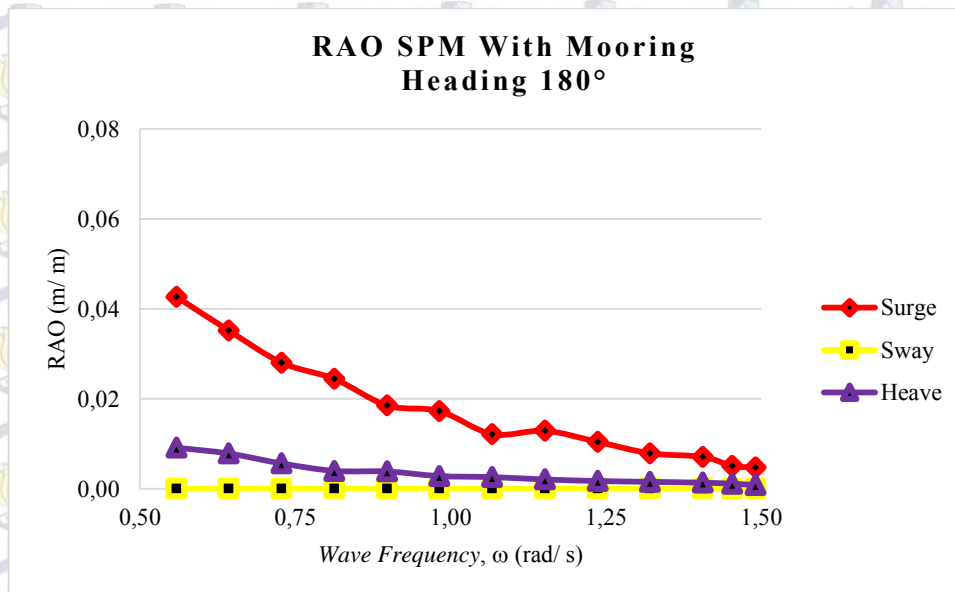
Gambar 4.45 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 45°



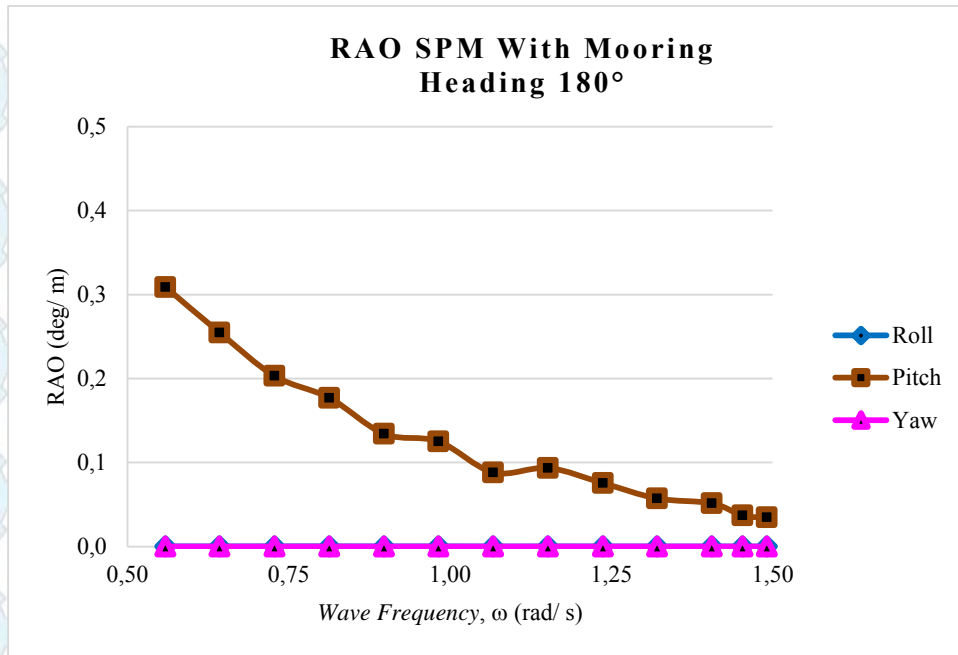
Gambar 4.46 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.47 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.48 Grafik RAO translasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah *heading* 180°



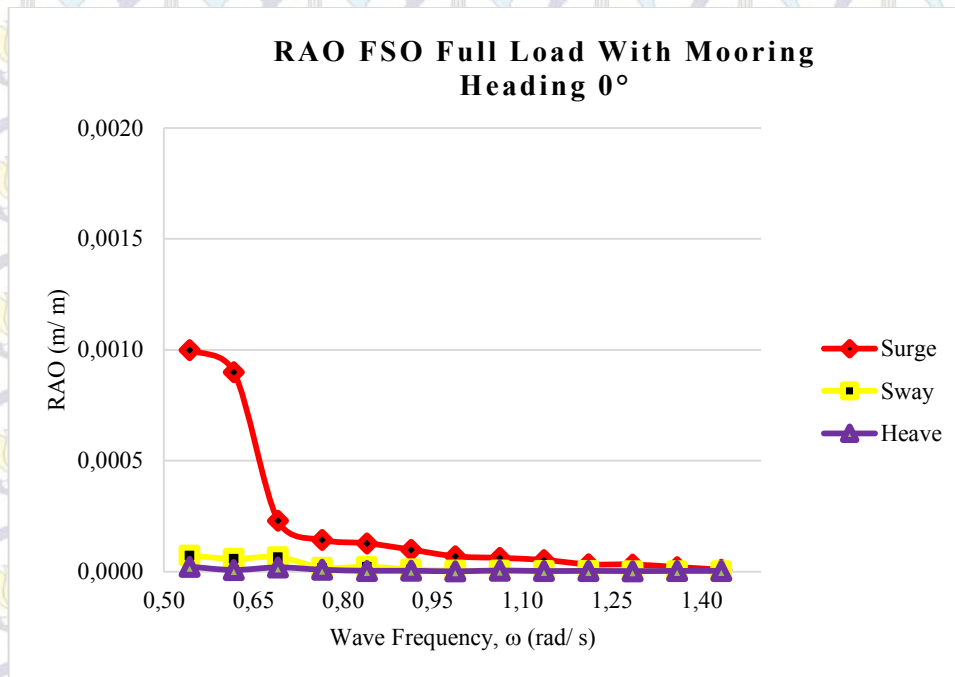
Gambar 4.49 Grafik RAO rotasional saat tertambat untuk SPM kondisi FSO light load dengan arah heading 180°

Tabel 4.13 Nilai maksimum RAO SPM Tertambat Kondisi FSO Light Load

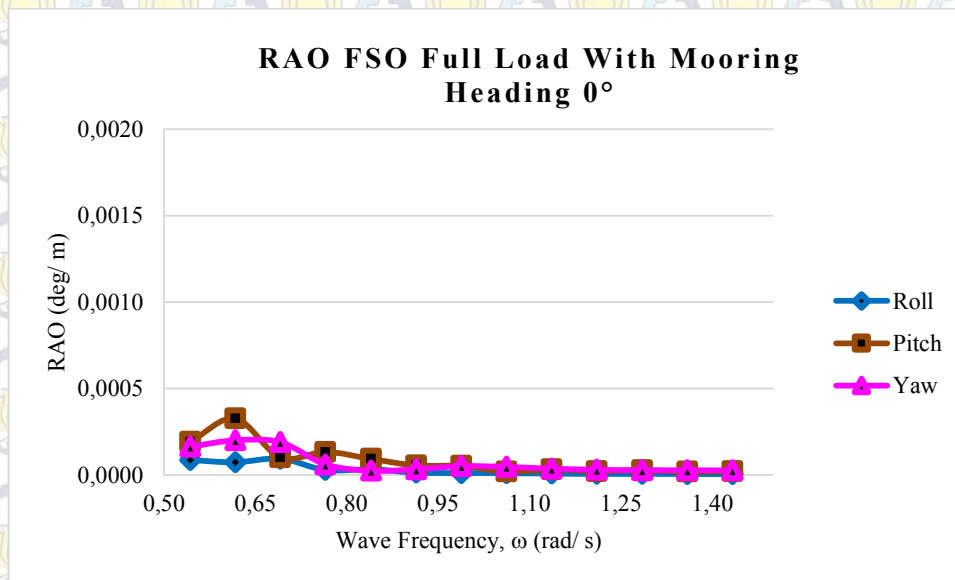
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
Surge	m/m	0.038	0.009	0.013	0.043	0.043
Sway	m/m	0.000	0.015	0.014	0.000	0.015
Heave	m/m	0.012	0.030	0.019	0.009	0.030
Roll	deg/m	0.001	0.209	0.288	0.000	0.288
Pitch	deg/m	0.297	0.146	0.138	0.309	0.309
Yaw	deg/m	0.005	0.004	0.006	0.000	0.006

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa surge tertinggi ialah sebesar 0.043 (m/m) yaitu pada heading 180°, sway tertinggi pada heading 45° sebesar 0.015 (m/m), dan tertinggi pada heading 45° sebesar 0.030 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional roll maksimum pada heading 90° sebesar 0.288 (deg/m), pitch maksimum sebesar 0.309 (deg/m) pada heading 180°, dan yaw maksimum sebesar 0.006 (deg/m) pada heading 90°.

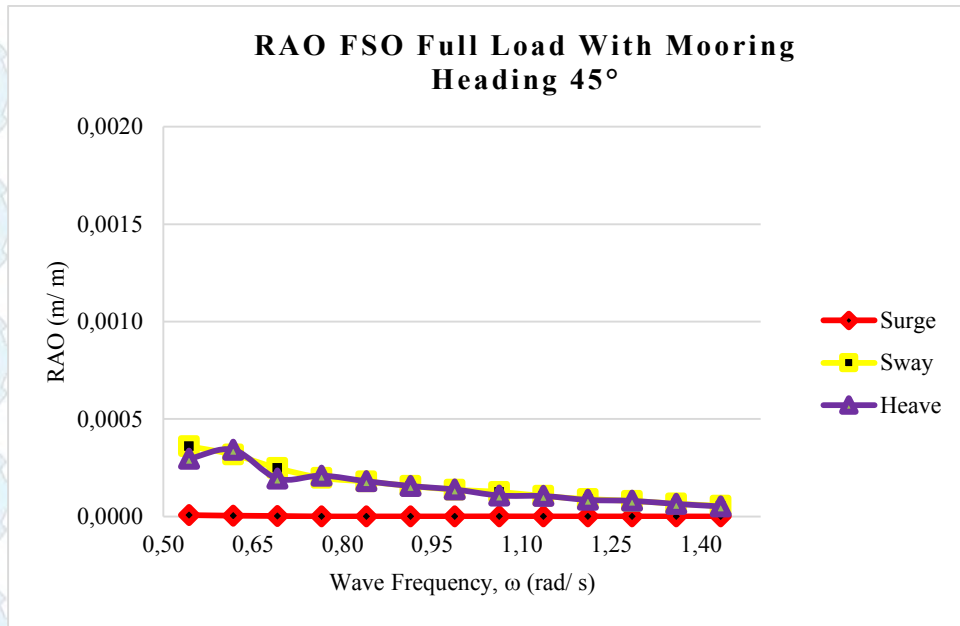
4.5.3.5 RAO FSO Tertambat Kondisi *Full Load*



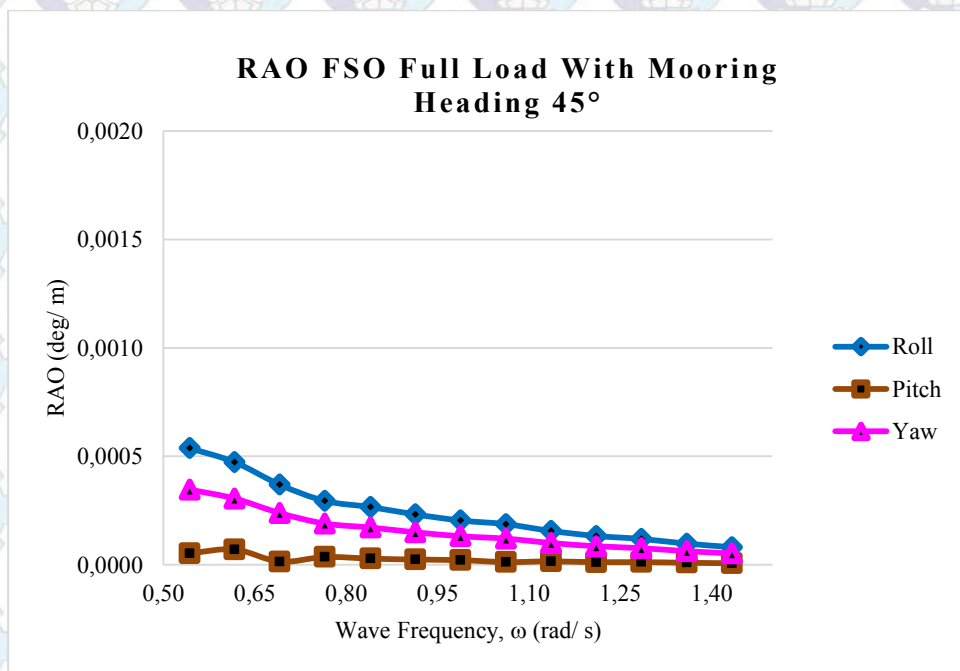
Gambar 4.50 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 0°



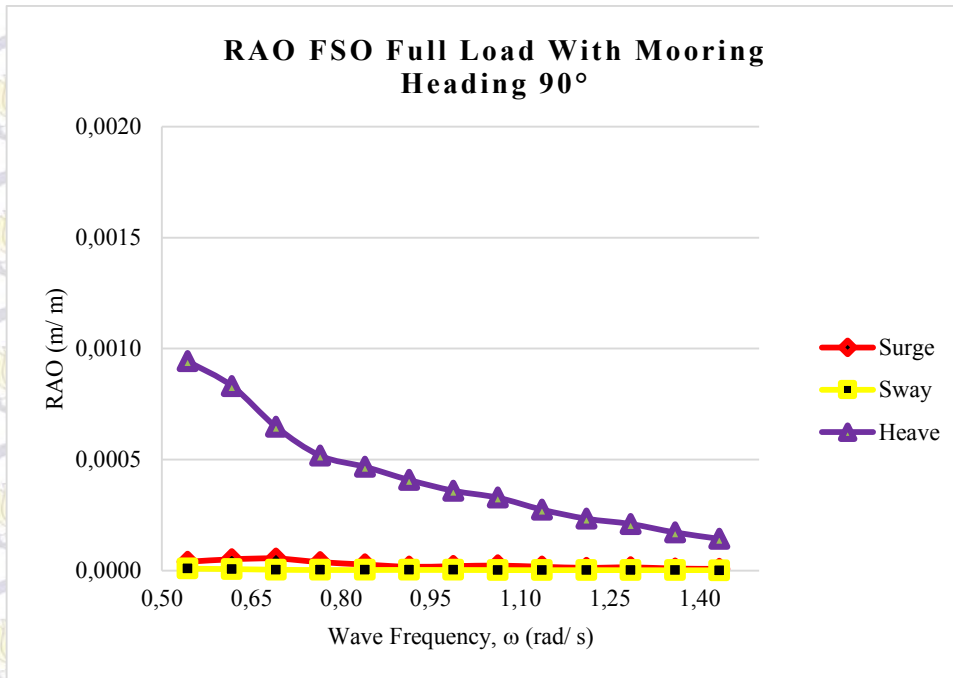
Gambar 4.51 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 0°



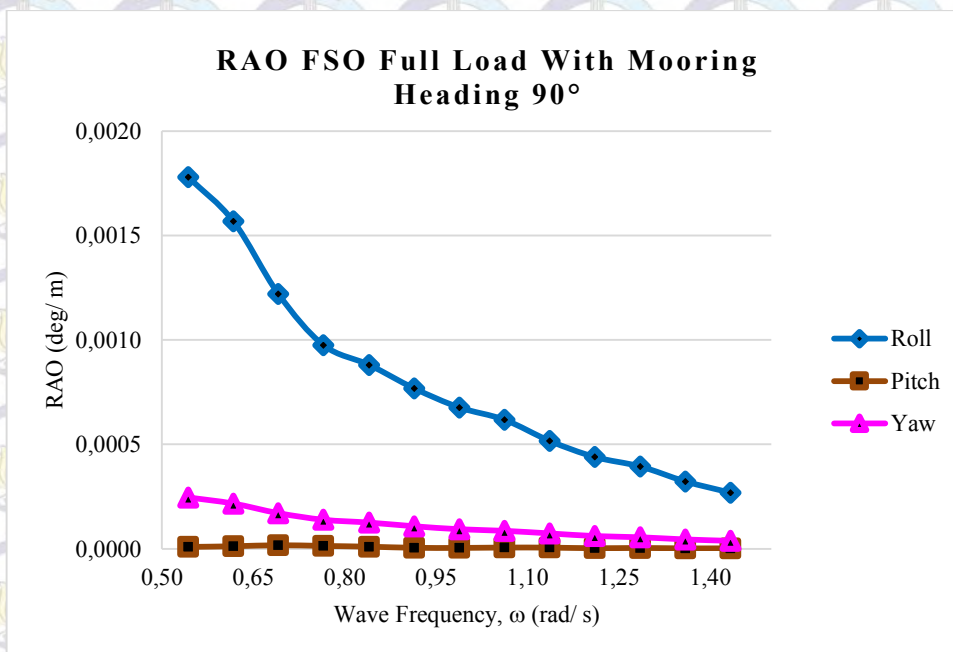
Gambar 4.52 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 45°



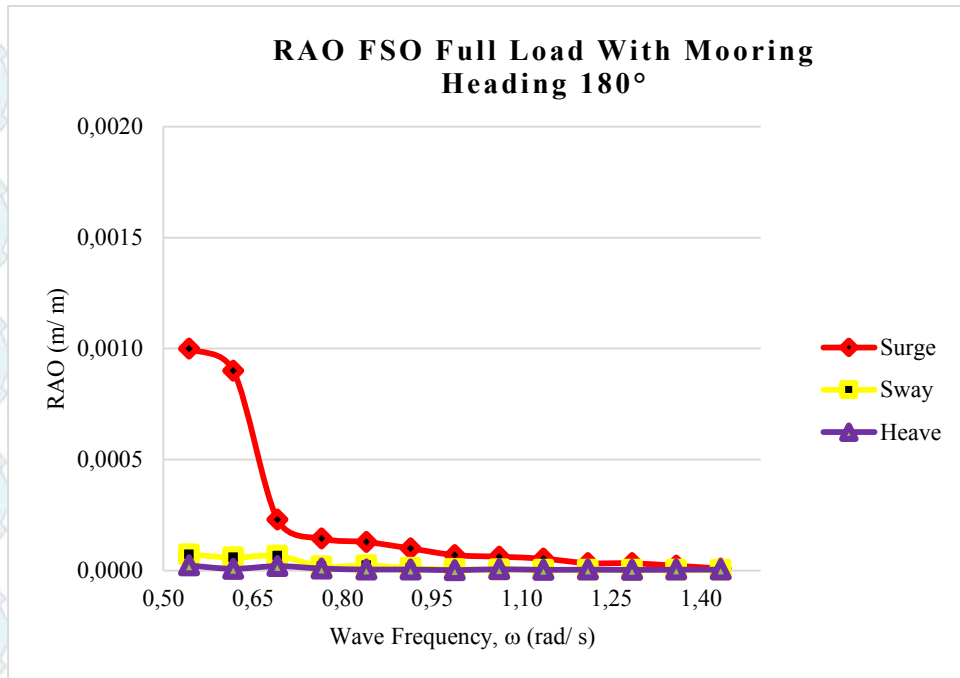
Gambar 4.53 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 45°



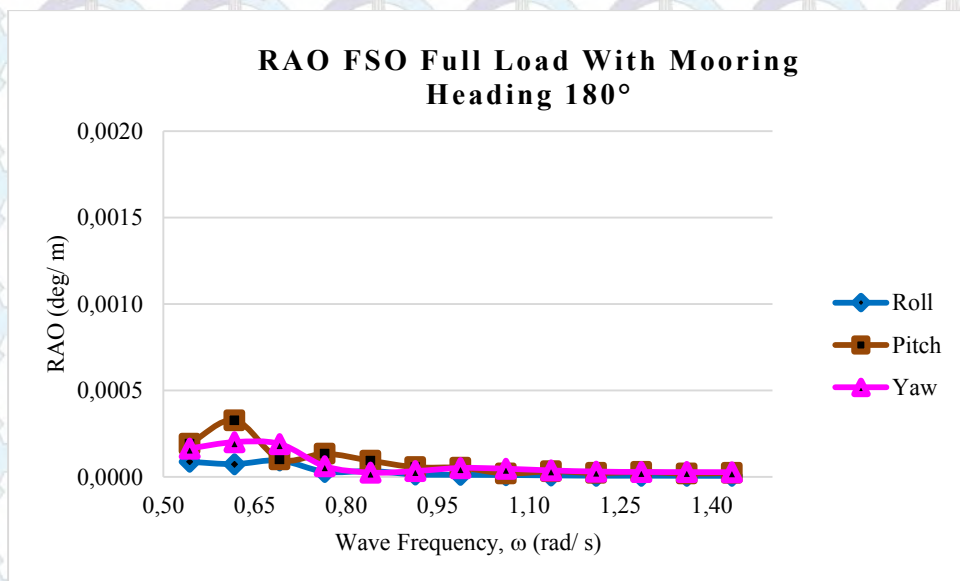
Gambar 4.54 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.55 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.56 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 180°



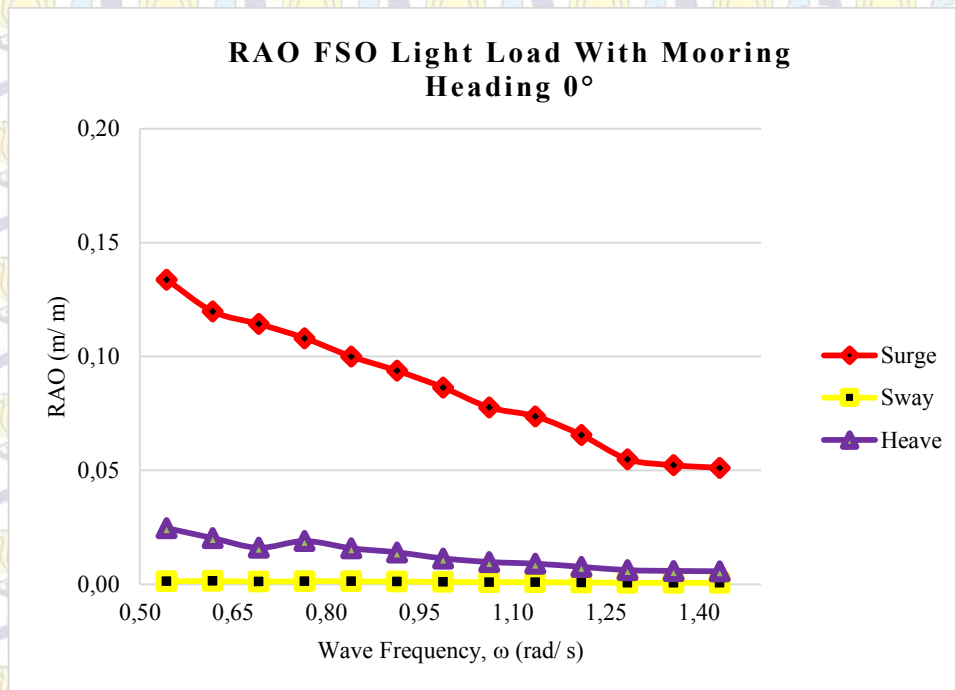
Gambar 4.57 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *full load* dengan arah *heading* 180°

Tabel 4.14 Nilai maksimum RAO FSO Tertambat Kondisi *Full Load*

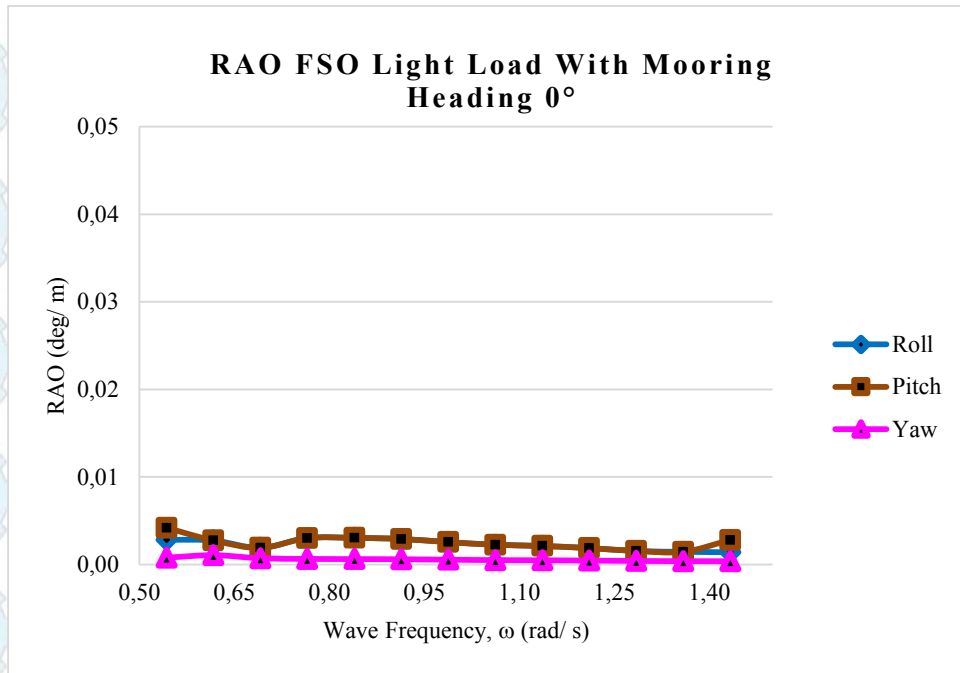
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
Surge	m/m	0.0010	0.0000	0.0001	0.0002	0.0010
Sway	m/m	0.0001	0.0004	0.0000	0.0000	0.0004
Heave	m/m	0.0000	0.0003	0.0009	0.0000	0.0009
Roll	deg/m	0.0001	0.0005	0.0018	0.0000	0.0018
Pitch	deg/m	0.0003	0.0001	0.0000	0.0001	0.0003
Yaw	deg/m	0.0002	0.0003	0.0002	0.0000	0.0003

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.0010 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 45° sebesar 0.0004 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.0009 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 0.0018 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.0003 (deg/m) pada *heading* 0°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.0003 (deg/m) pada *heading* 45°.

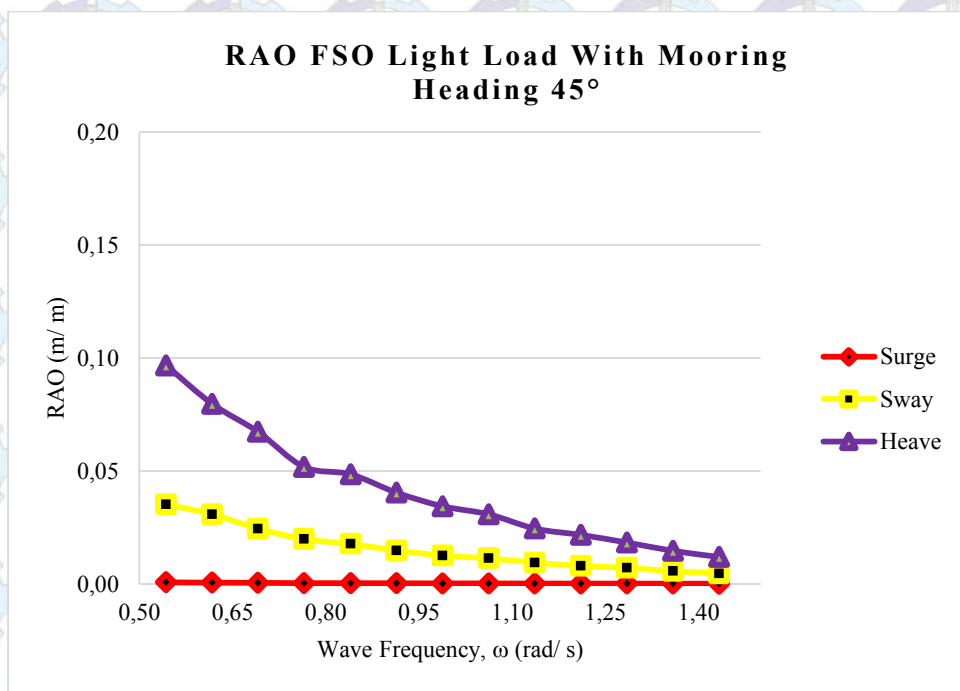
4.5.3.6 RAO FSO Tertambat Kondisi *Light Load*



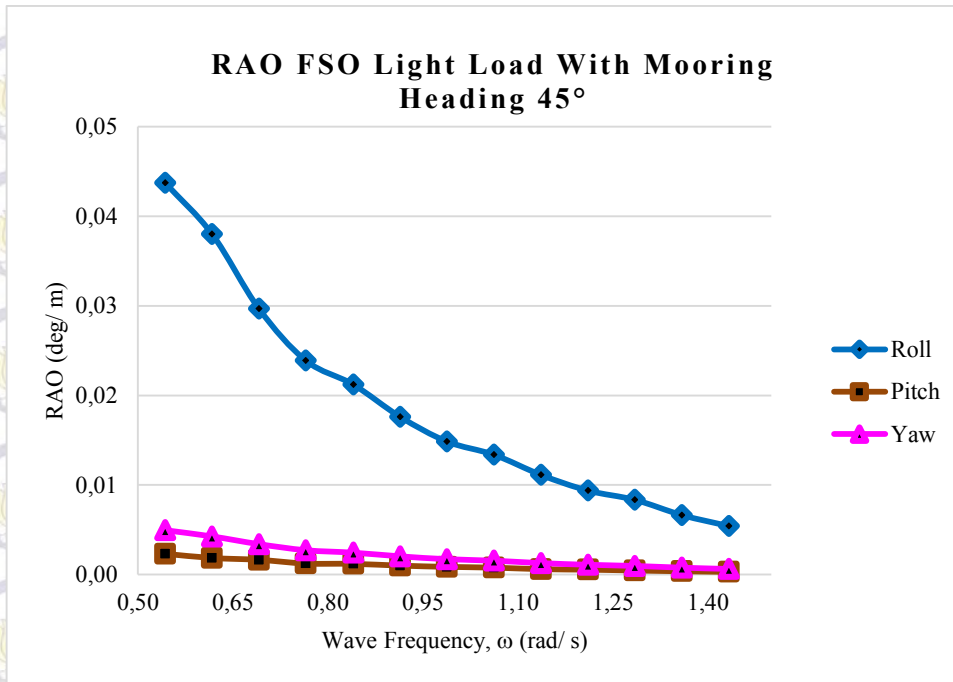
Gambar 4.58 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 0°



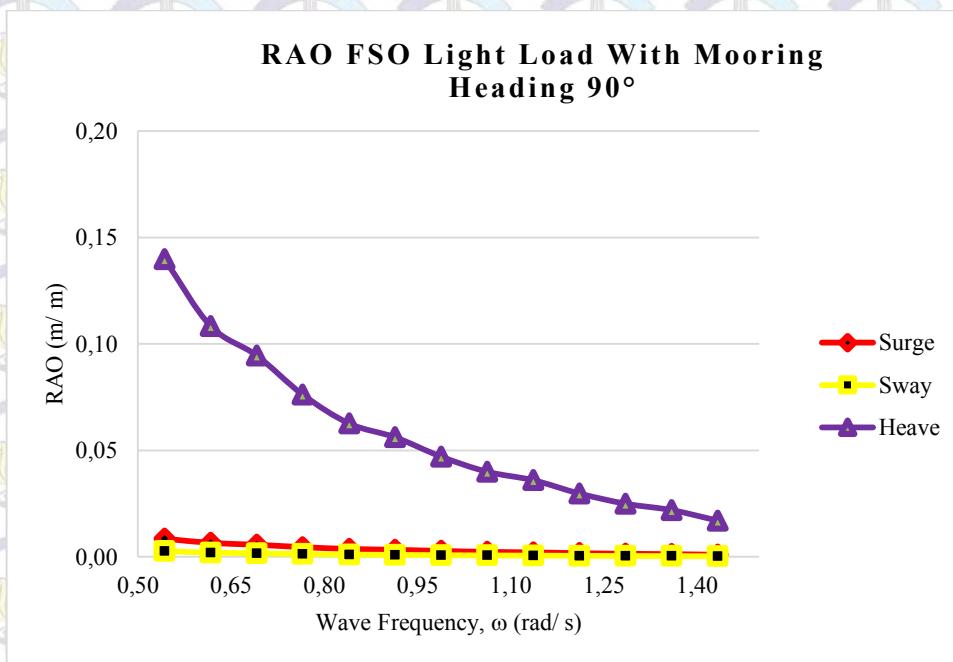
Gambar 4.59 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 0°



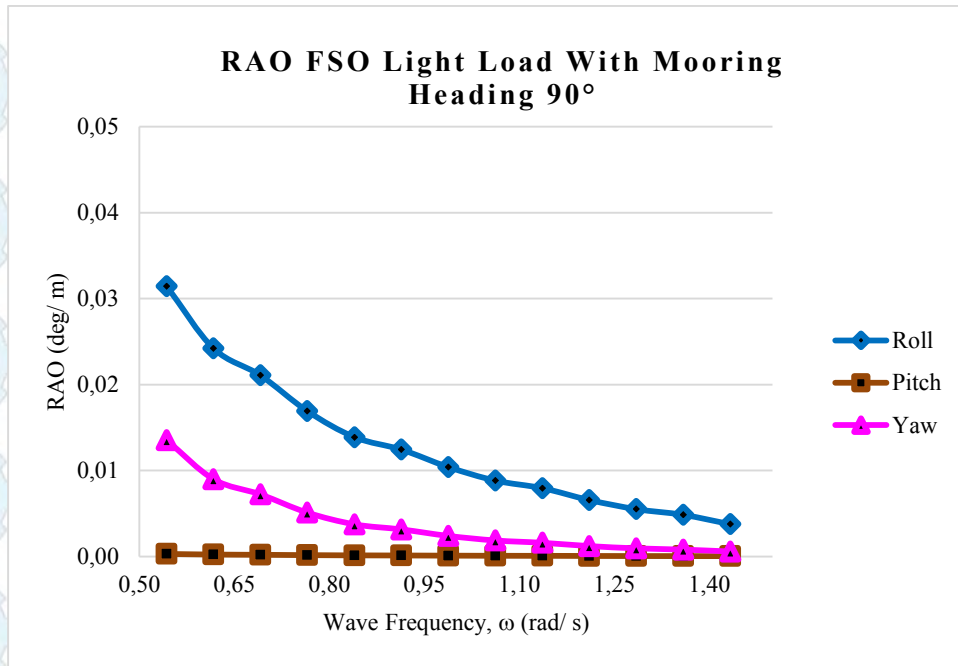
Gambar 4.60 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 45°



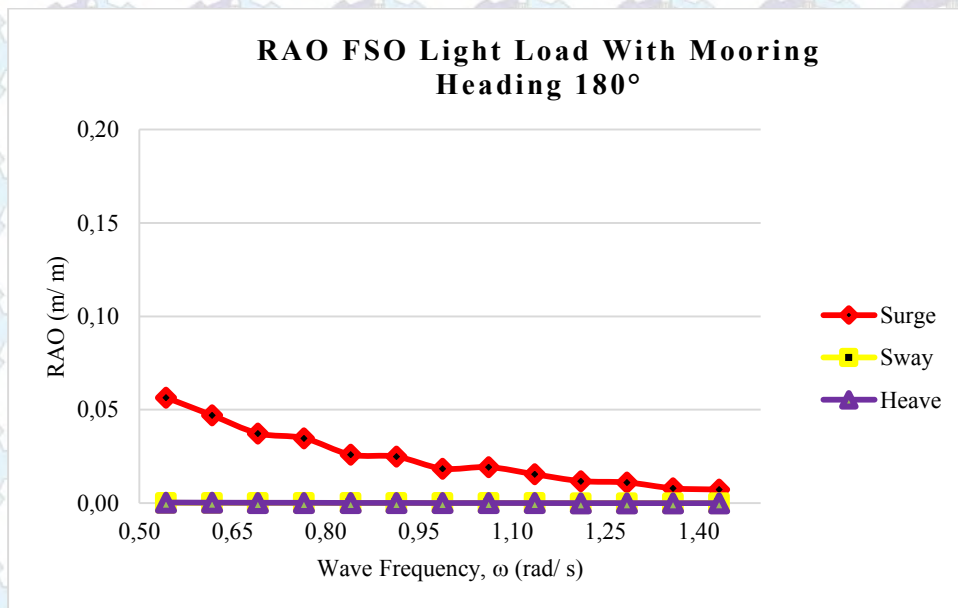
Gambar 4.61 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 45°



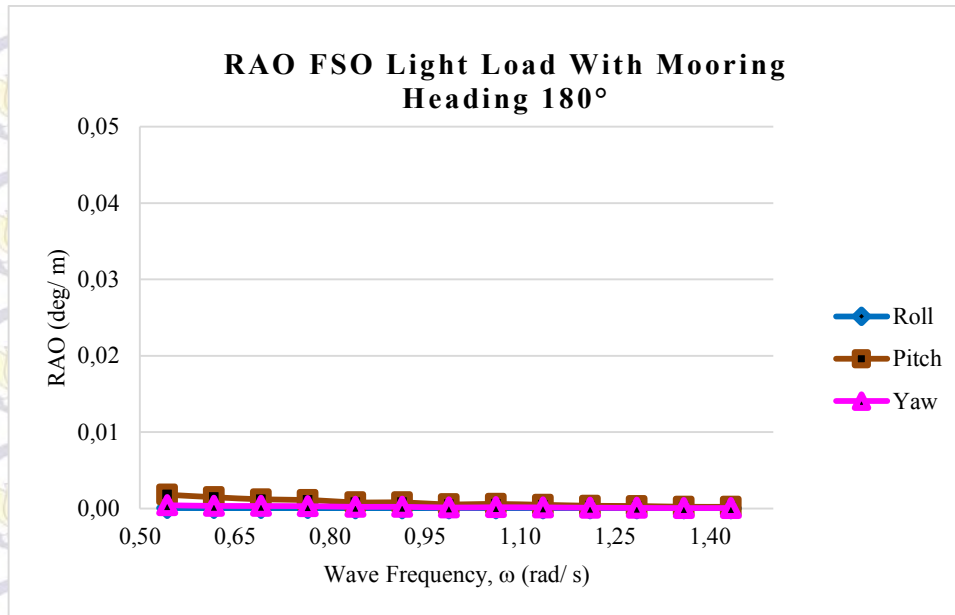
Gambar 4.62 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.63 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi light load dengan arah *heading* 90°



Gambar 4.64 Grafik RAO translasional saat tertambat pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 180°



Gambar 4.65 Grafik RAO rotasional saat tertambat pada kondisi *light load* dengan arah *heading* 180°

Tabel 4.15 Nilai maksimum RAO FSO Tertambat Kondisi *Light Load*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				Max
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.134	0.001	0.009	0.057	0.134
<i>Sway</i>	m/m	0.001	0.035	0.003	0.000	0.035
<i>Heave</i>	m/m	0.025	0.097	0.140	0.000	0.140
<i>Roll</i>	deg/m	0.003	0.044	0.031	0.000	0.044
<i>Pitch</i>	deg/m	0.004	0.002	0.000	0.002	0.004
<i>Yaw</i>	deg/m	0.001	0.005	0.014	0.000	0.014

Berdasarkan grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.134 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 45° sebesar 0.035 (m/m), dan tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.140 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 45° sebesar 0.044 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.004 (deg/m) pada *heading* 0°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.014 (deg/m) pada *heading* 90°.

4.5.4 Perhitungan *Single Amplitude Accelerations* pada FSO Arco Ardjuna

Dari grafik RAO diatas secara umum dapat dengan mudah mengetahui dan membandingkan gerakan paling dominan untuk masing masing arah. Grafik diatas dibagi dalam tiap-tiap *heading* , dimana tiap-tiap *heading* terdapat 6 gerakan. Dari grafik diatas dapat kita lihat gerakan yang paling dominan adalah *heaving*, *rolling* dan *pitching* yang memiliki simpangan amplitudo terbesar.

Hasil dari perhitungan *maximum single amplitude accelerations* dengan Ansys Aqwa pada FSO Arco Ardjuna pada kondisi tertambat dapat kita tabulasi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.16 *Output Maximum Single Amplitude Accelerations* pada FSO Arco Ardjuna Kondisi *Full Load*

Moda Gerakan	<i>Single Amplitude Acceleration</i>				Max
	0 °	45 °	90 °	180 °	
<i>Surge</i>	0.1376	0.0603	0.0019	0.1024	0.1376
<i>Sway</i>	0.0012	0.0599	0.0873	0.0009	0.0873
<i>Heave</i>	0.0948	0.1554	0.1946	0.1621	0.1946
<i>Roll</i>	0.0019	0.2573	0.4041	0.0025	0.4041
<i>Pitch</i>	0.5267	0.2664	0.0057	0.4310	0.5267
<i>Yaw</i>	0.0020	0.0040	0.0043	0.0009	0.0043

Dari data diatas didapatkan nilai maksimum *single amplitude acceleration* dari FSO Ardjuna kondisi *full load* saat tertambat dari tiap motion, *surge* pada *heading* 0° adalah 0.1376 m/s², *sway* pada *heading* 90° adalah 0.0873 m/s², *heave* pada *heading* 90° adalah 0.1946 m/s², *roll* pada *heading* 90° adalah 0.4041 rad/s², *pitch* pada *heading* 0° adalah 0.5267 rad/s², *yaw* pada *heading* 90° adalah 0.0043 rad/s². Nilai maksimum *single amplitude acceleration* dari tiap *motion* akan dipakai dalam perhitungan beban inersia akibat gelombang.

Tabel 4.17 *Output Maximum Single Amplitude Accelerations* pada FSO Arco Ardjuna Kondisi *Light Load*

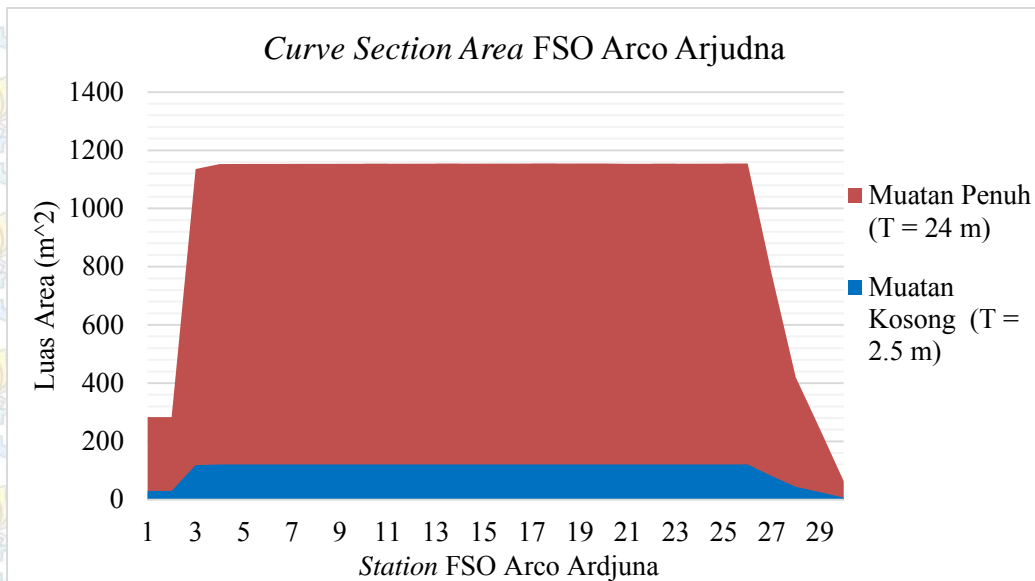
Moda Gerakan	Single Amplitude Acceleration				Max
	0 °	45 °	90 °	180 °	
<i>Surge</i>	0.08977	0.06280	0.00077	0.07671	0.08977
<i>Sway</i>	0.00213	0.06374	0.08519	0.00030	0.08519
<i>Heave</i>	0.07333	0.08216	0.07333	0.06161	0.08216
<i>Roll</i>	0.00687	0.21289	0.28347	0.00095	0.28347
<i>Pitch</i>	0.29571	0.19702	0.00219	0.26717	0.29571
<i>Yaw</i>	0.00146	0.00157	0.00146	0.00060	0.00157

Dari data diatas didapatkan nilai maksimum *single amplitude acceleration* dari FSO Ardjuna kondisi *light load* saat tertambat dari tiap motion, *surge* pada *heading* 0° adalah 0.08977 m/s², *sway* pada *heading* 90° adalah 0.08519 m/s², *heave* pada *heading* 90° adalah 0.08634 m/s², *roll* pada *heading* 90° adalah 0.28347 rad/s², *pitch* pada *heading* 0° adalah 0.29571 rad/s², *yaw* pada *heading* 90° adalah 0.00425 rad/s². Nilai maksimum *single amplitude acceleration* dari tiap *motion* akan dipakai dalam perhitungan beban inersia akibat gelombang.

4.6 Curve Of Sectional Area (CSA)

Dari pemodelan FSO Arco Ardjuna yang dilakukan dengan Maxsurf dapat diperoleh keluaran *Sectional Area* yang selanjutnya nanti merupakan digunakan sebagai inputan dalam perhitungan gaya geser dan bending momen kekuatan memanjang kapal.

Curve of sectional area MST NIRIA disajikan dalam Gambar 4.63



Gambar 4.66 *Curve of Sectional Area FSO Arco Ardjuna*

4.7 Penyebaran Berat FSO Arco Ardjuna

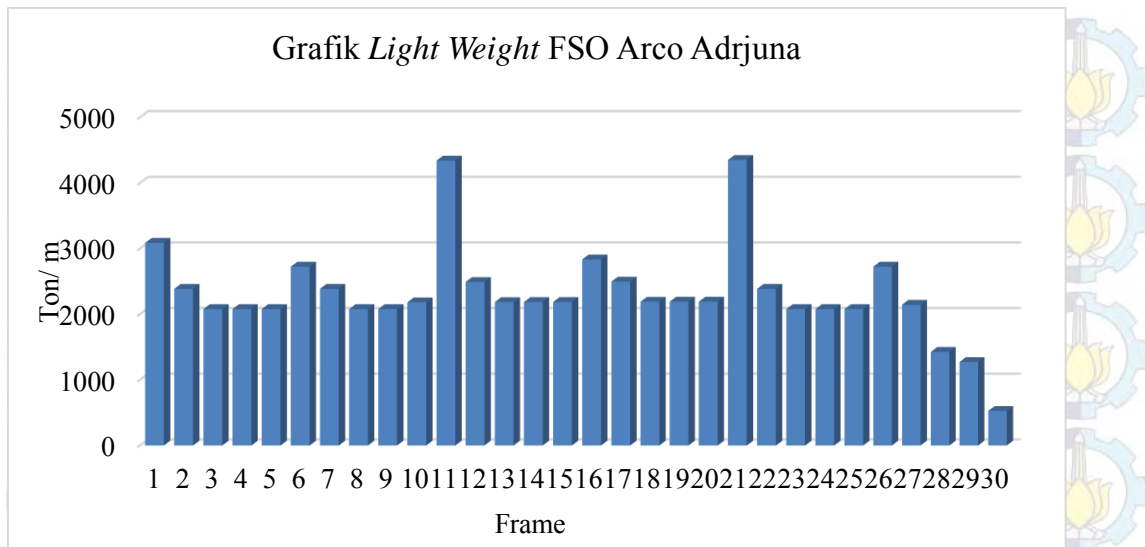
Pada suatu kapal memiliki berat yaitu LWT (*Light Weight Tonnage*) dan DWT (*Dead Weight Tonnage*). Pemodelan serta perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan DWT dengan variasi :

- FSO Arco Ardjuna dengan muatan penuh 95% (*Full Load*)
- FSO Arco Ardjuna dengan muatan 10% (*Light Load*)

Perhitungan berat kapal digunakan untuk mengetahui gaya-gaya tekan kebawah yang berkontribusi terhadap kekuatan memanjang kapal. Berat-berat yang dipertimbangkan dalam perhitungan LWT antara lain:

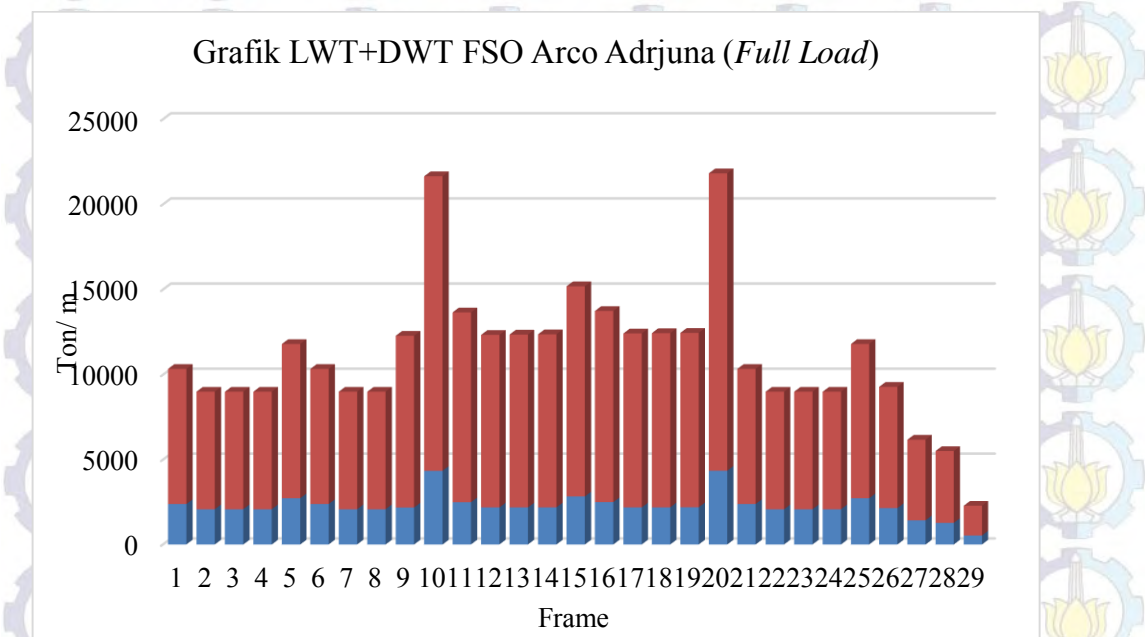
- Berat konstruksi tiap station
- Berat permesinan dan perlengkapan
- Berat *furniture*
- Berat perpipaan

Dengan kurva penyebaran berat kosong kapal sebagai berikut



Gambar 4.67 Grafik penyebaran berat MST NIRIA Muatan Kosong

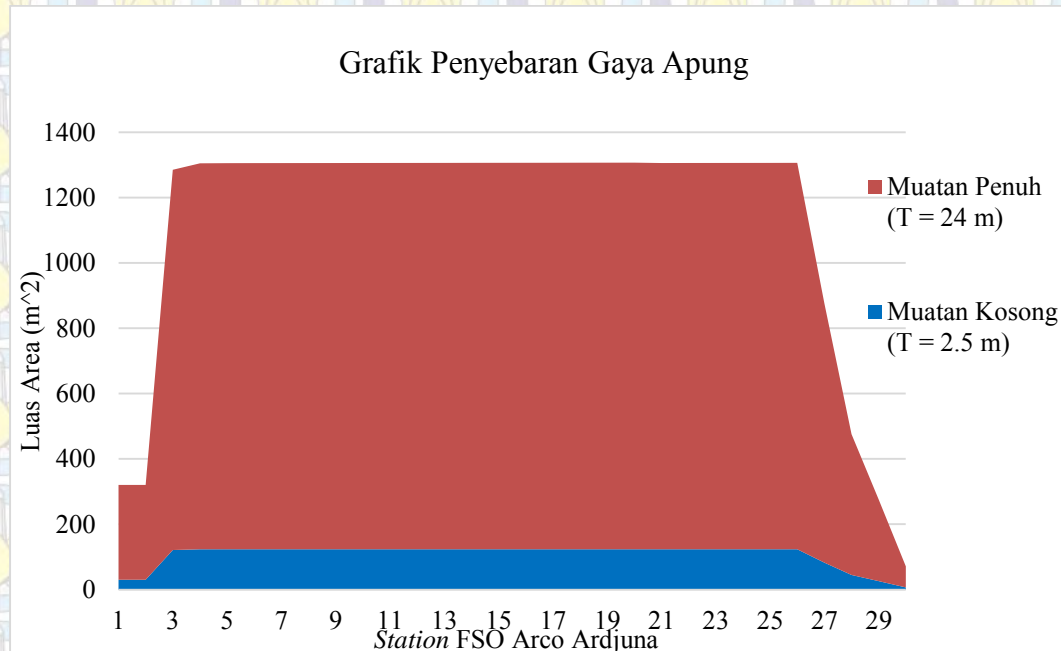
Sedangkan untuk tabulasi berat FSO Arco Ardjuna dengan muatan penuh diuraikan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.68 Penyebaran Berat FSO Arco Ardjuna Muatan Penuh (merah : DWT, biru : LWT)

4.8 Penyebaran Gaya Apung (Buoyancy)

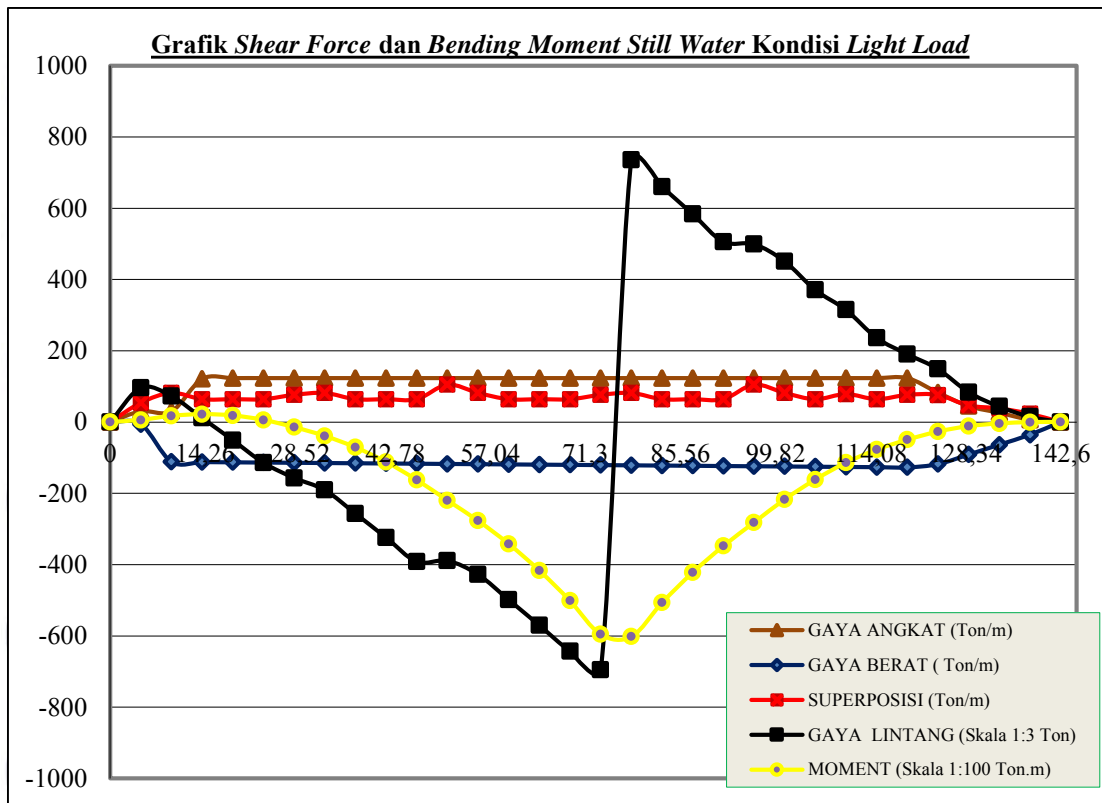
Penyebaran gaya apung FSO Arco Ardjuna dilakukan untuk mengetahui gaya tekan keatas yang mempengaruhi kekuatan memanjang kapal. Penyebaran gaya apung ditunjukkan pada grafik di bawah ini,



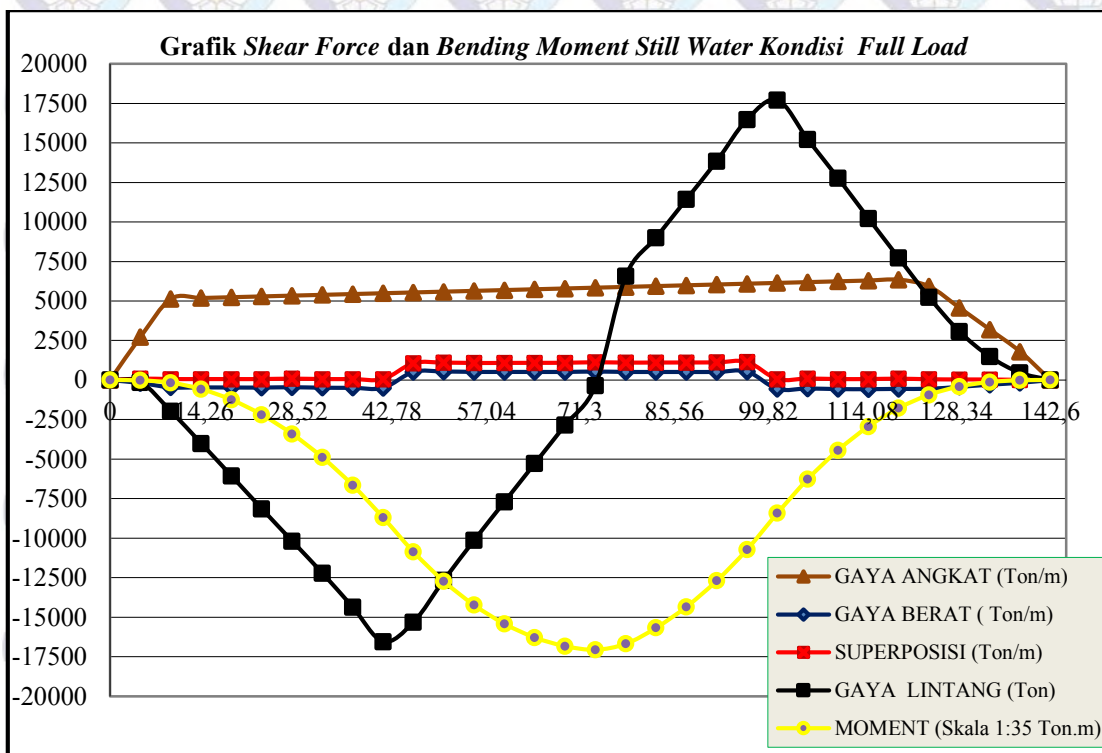
Gambar 4.69 Penyebaran gaya apung FSO Arco Ardjuna

4.9 Analisis Distribusi Tegangan Global FSO Arco Ardjuna Kondisi *Calm Water* dengan Maxsurf Hydromax

Dalam perhitungan kekuatan memanjang kapal kondisi *calm water* diperlukan untuk menghitung kekuatan memanjang kapal yang dipengaruhi oleh kondisi *calm water* dan *regular wave*. Berikut ini ditampilkan grafik penyebaran gaya geser dan bending momen FSO Arco Ardjuna pada kondisi *calm water*.



Gambar 4.70 Penyebaran *shear force* dan *bending momen* light load kondisi calm water



Gambar 4.71 Penyebaran *shear force* dan *bending momen* full load kondisi calm water

4.10 Penyebaran Gaya Geser dan Bending Momen Pengaruh Muatan

Kondisi *Sagging-Hogging*

Tugas akhir ini menitik beratkan perhitungan kekuatan memanjang kapal dipengaruhi oleh gelombang reguler, sehingga dalam perhitungan penyebaran gaya geser dan *bending momen* relatif pada setiap station yang dipengaruhi oleh variasi muatan pada kondisi gelombang reguler kondisi *sagging hogging* dengan kondisi-kondisi batas pemodelan yang telah dilakukan dan output yang diperoleh berupa penyebaran gaya geser dan bending momen relatif pada setiap station yang dipengaruhi oleh variasi muatan pada kondisi gelombang reguler *sagging hogging*.

Pembebanan gelombang periode 100-tahunan digunakan untuk mengetahui titik yang mengalami tegangan paling kritis akibat pengaruh gerakan struktur. Beban DWT dan LWT untuk masing-masing kondisi muatan diinputkan pada pemodelan global FSO Arco Ardjuna untuk mendapatkan distribusi tegangan pada FSO Arco Ardjuna akibat gerakan struktur. Besar respons struktur FSO akibat beban gelombang yang dicari adalah *shear force* dan *bending momen*. Analisis ini memperhitungkan kondisi *sagging* dan *hogging* kapal. Dalam perhitungan *shear force* dan *bending momen* ini beban lingkungan diperhitungkan adalah :

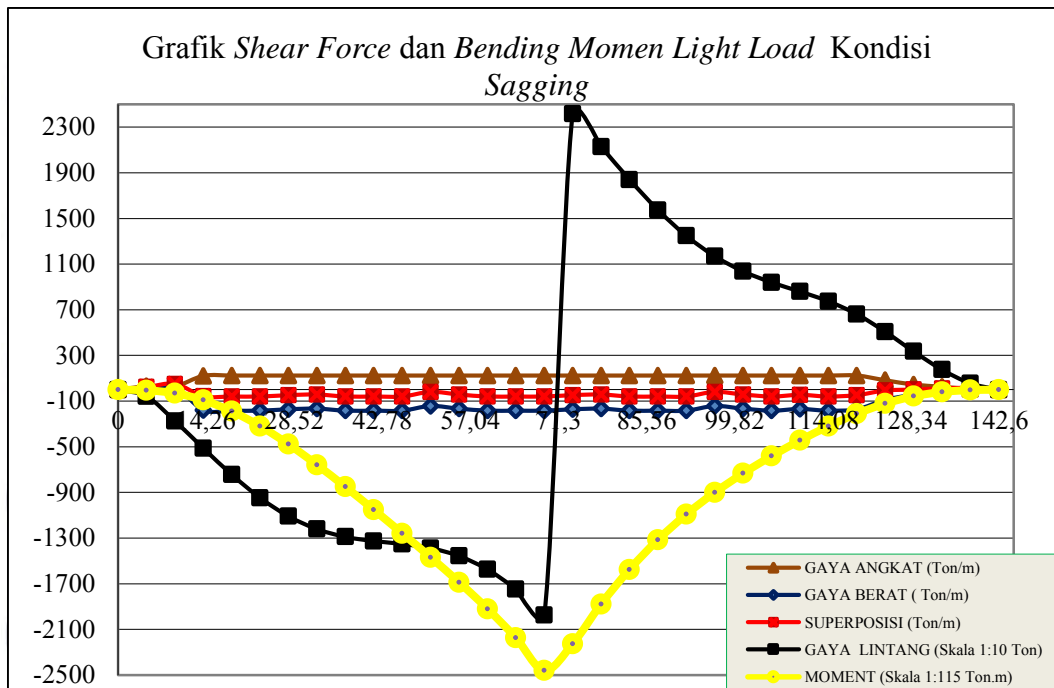
- Panjang gelombang (L_W), diperoleh melalui persamaan

$$L_W = \frac{gT_W^2}{2\pi}$$

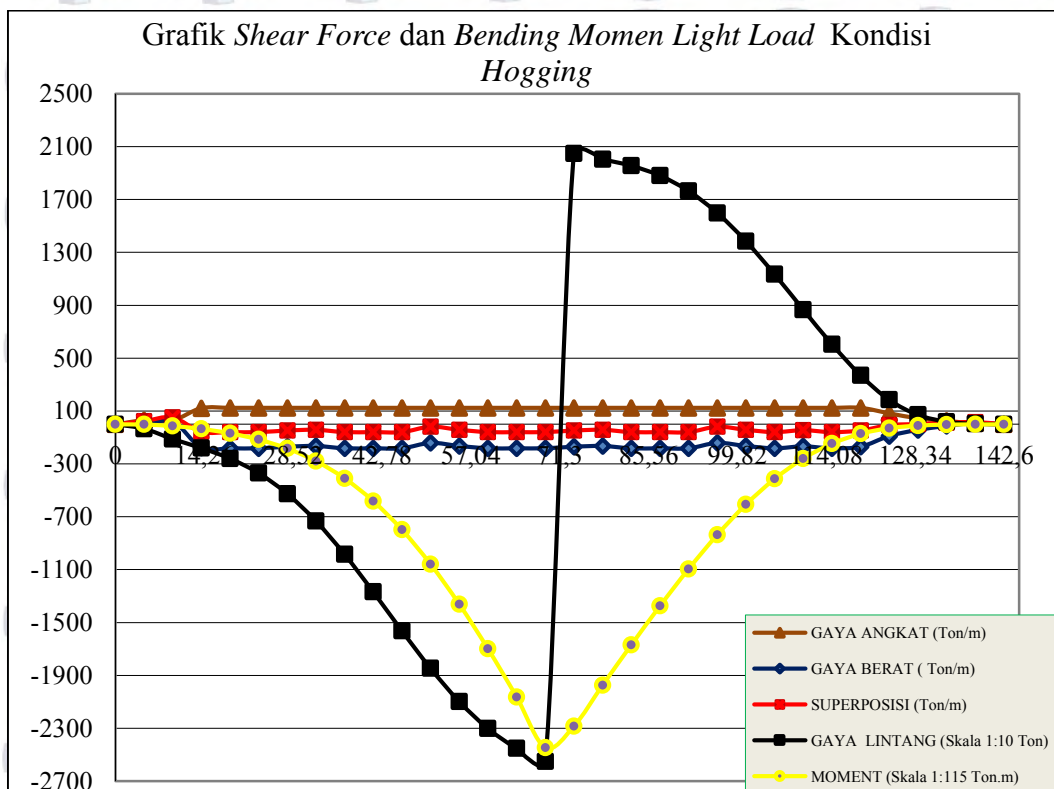
$$L_W = \frac{9.8 \times (9.4)^2}{2\pi} = 111.027\text{m}$$

- Tinggi gelombang signifikan 100 tahunan adalah 3.6 m

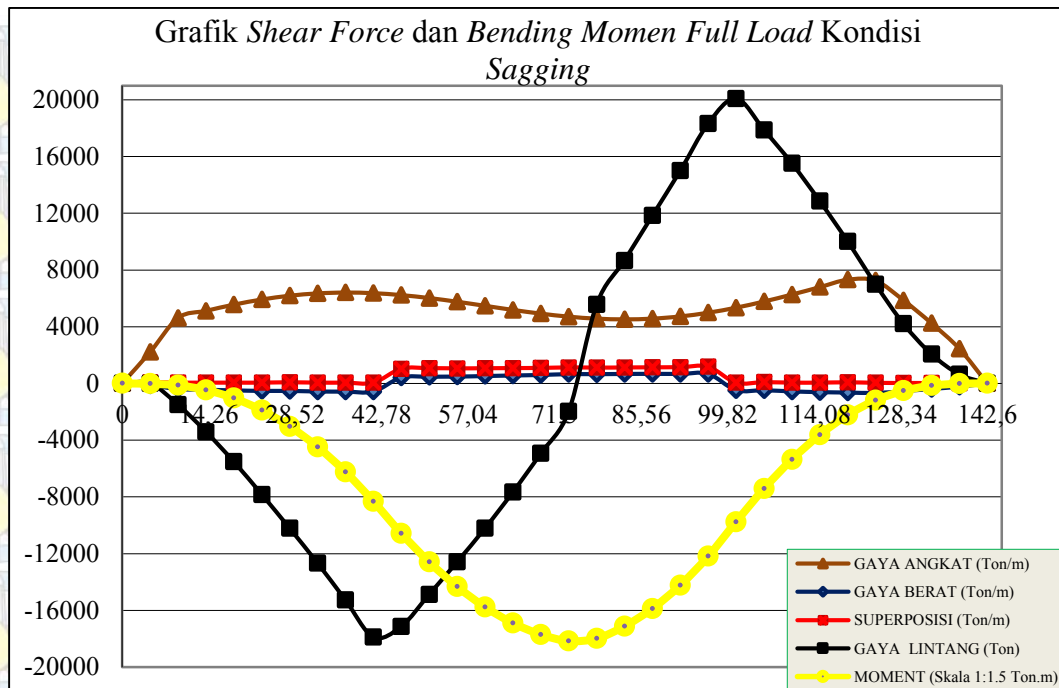
Berikut ini adalah hasil analisis pada *software* Maxsurf untuk kekuatan memanjang struktur FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dan *full load* pada gelombang reguler.



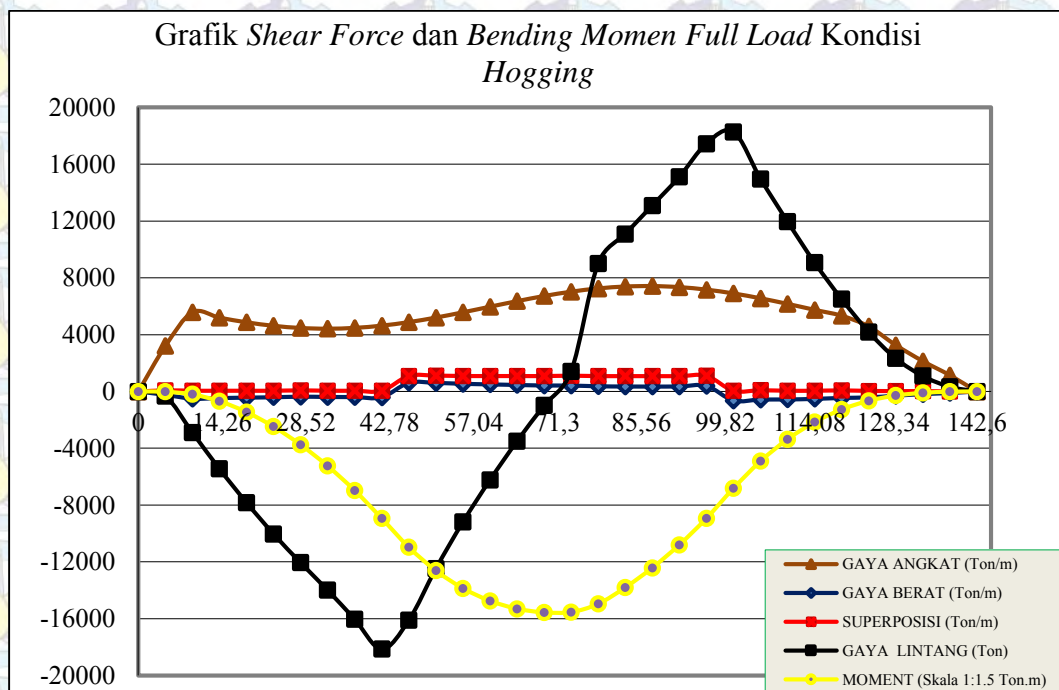
Gambar 4.72 Output grafik shear force dan bending momen light load kondisi sagging pada gelombang regular



Gambar 4.73 Output grafik shear force dan bending momen light load kondisi hogging pada gelombang regular



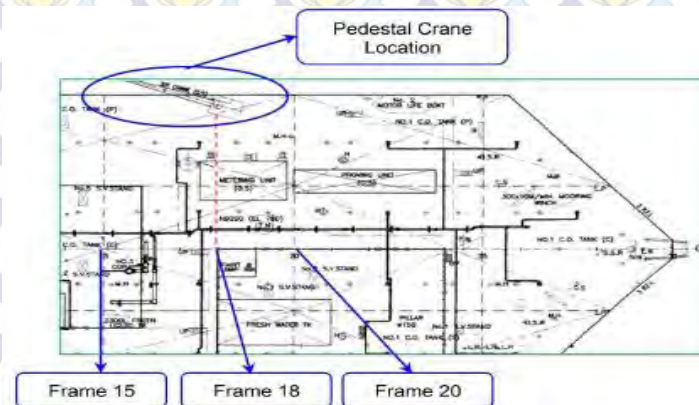
Gambar 4.74 Output grafik shear force dan bending momen kondisi full load kondisi sagging pada gelombang regular



Gambar 4.75 Output grafik shear force dan bending momen kondisi full load kondisi hogging pada gelombang regular

Dari grafik diatas dapat diperoleh nilai tegangan geser dan bending momen maksimum. Crane pedestal terletak pada koordinat 87.4 m dari AP atau frame

18. Gambar 4.71 berikut menunjukkan lokasi *bow crane pedestal* Arco Ardjuna



Gambar 4.76 Ilustrasi posisi *bow crane* pada FSO Arco Ardjuna

Berikut ini *shear force* dan *bending momen* akibat gerakan struktur pada frame 16-20 seperti pada tabel 4.19 berikut. Nilai inilah yang akan digunakan sebagai beban pada analisis global distribusi tegangan di FSO Arco Ardjuna menggunakan teknik sub modeling dengan pemodelan diambil dua frame ke depan dan ke belakang sebagai pembatas frame 18, dimana pada frame 18 adalah lokasi *bow crane pedestal* FSO Arco Adrjuna. Pemodelan *sub modeling* dilakukan dari frame 16-20 dan struktur kapal dianggap simetris sehingga *sub modeling* dibatasi sampai *centerline* untuk sumbu *transverse* dan *bottom* untuk sumbu vertikal.

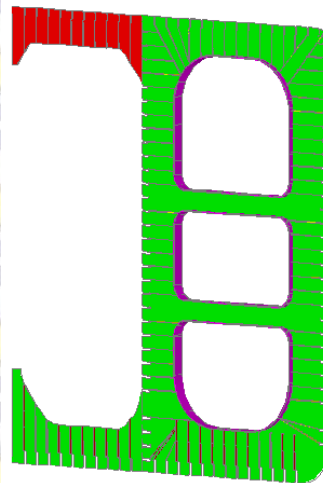
Tabel 4.19 *Shear force* dan *bending momen* pada frame 16-21 pada FSO Arco Ardjuna kondisi *Reguler Wave* Kondisi *Full Load*

No	Frame	Lokasi Longitudinal (m)	Full (Sagging)		Full (Hogging)	
			Shear Force (Ton)	Bending Momen (Ton.m)	Shear Force (Ton)	Bending Momen (Ton.m)
1	16	78.2	5553	-998202	7508	-748173
2	17	82.8	8666	-823682.6	9229	-690406.5
3	18	87.4	11829	-763467.9	10905	-620946
4	19	92	14992	-684314.8	12586	-539928
5	20	96.6	18320	-586045.2	14536	-446782.5

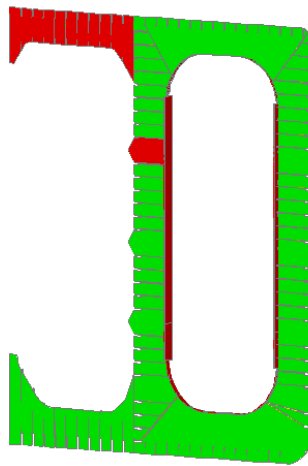
Tabel 4.20 *Shear force dan bending momen pada frame 16-21 pada FSO Arco Ardjuna kondisi Regular Wave Kondisi Light Load*

No	Frame	Lokasi Longitudinal (m)	Light (Sagging)		Light (Hogging)	
			Shear Force (Ton)	Bending Momen (Ton.m)	Shear Force (Ton)	Bending Momen (Ton.m)
1	16	78.2	7093	-226999.65	6679	-216021.75
2	17	82.8	6133	-192028.15	6518	-181142.25
3	18	87.4	5247	-158116.95	6270	-151166.35
4	19	92	4492	-125877.85	5882	-125543.2
5	20	96.6	6896	-103493.1	5328	-96134.25

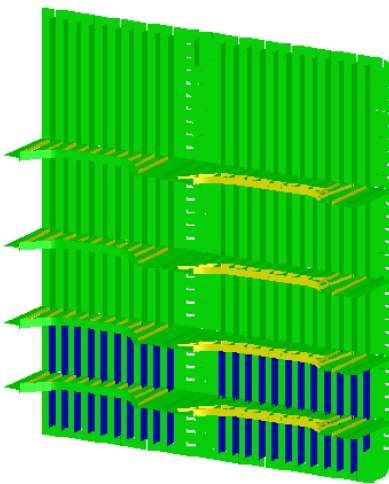
Dalam analisis distribusi tegangan ini, nilai *shear force* dan *bending momen* yang diinputkan adalah setengah dari nilai SFBM. Karena pemodelan yang dilakukan sebatas pemodelan sub modeling frame 16-20 dengan asumsi frame dianggap simetris. Dengan kondisi pemodelan pada masing-masing frame dimodelkan sampai *bottom* dan dibatasi sampai *centerline*. Untuk dimensi dari masing-masing frame diambil 80% dari dimensi pada data, hal ini mengacu pada aturan BKI Volume II “*Rules For Hull Construction*” dengan memperhatikan *corrothion allowance* sehingga ketebalan pada masing-masing yang digunakan adalah 10.16 mm dari data awalnya 12.7 mm.



Gambar 4.77 (a) Sub modeling frame 16



Gambar 4.77 (b) Sub modeling frame 17, 18 dan 19



Gambar 4.77 (c) Sub modeling frame 20 (*bulkhead*)

4.11 Perhitungan Gaya Inersia

FSO Arco Ardjuna yang terkena beban gelombang akan mengalami percepatan pada setiap gerakannya. Fasilitas *crane* yang terdapat di atas FSO Arco Ardjuna juga mengalami percepatan akibat gerakan FSO Arco Ardjuna, maka sesuai hukum Newton benda yang mengalami percepatan memiliki gaya. FSO Arco Ardjuna mengalami gerak translasi dan rotasi akibat beban gelombang. Untuk gerakan translasi, gaya inersia didapatkan dengan persamaan:

$$F = m \times a$$

Dengan m adalah massa *bow crane* pada saat operasi yaitu 60.76 Ton. Maka didapatkan gaya untuk tiap gerakan translasi adalah

Tabel 4.20 Gaya Inersia akibat Gerakan Translasi Kondisi *Light Load*

Motion	Derajat Kebebasan	Percepatan (m/s ²)	<i>Inertia Force</i> (KN)
Surge	0 °	0.0898	5.454
	45 °	0.0628	3.815
	90 °	0.0008	0.047
	180 °	0.0767	4.661
Sway	0 °	0.0021	0.129
	45 °	0.0637	3.873
	90 °	0.0852	5.176
	180 °	0.0003	0.018
Heave	0 °	0.0733	4.456
	45 °	0.0822	4.992
	90 °	0.0863	5.246
	180 °	0.0616	3.743

Tabel 4.21 Gaya Inersia akibat Gerakan Translasi Kondisi *Full Load*

Motion	Derajat Kebebasan	Percepatan (m/s ²)	<i>Inertia Force</i> (KN)
Surge	0 °	0.138	8.359
	45 °	0.060	3.661
	90 °	0.002	0.115
	180 °	0.102	6.219
Sway	0 °	0.001	0.073
	45 °	0.060	3.640
	90 °	0.087	5.305
	180 °	0.001	0.055
Heave	0 °	0.095	5.762
	45 °	0.155	9.439
	90 °	0.195	11.827
	180 °	0.123	7.473

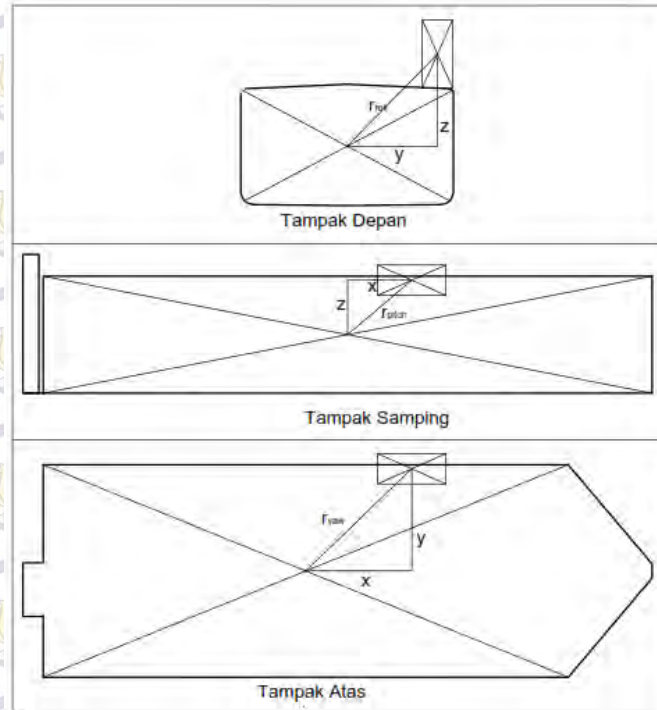
Sedangkan untuk gerakan rotasional, gaya inersia didapatkan dengan persamaan:

Momen Inersia $\rightarrow I = m \times r^2$

Momen Gaya $\rightarrow F = I \times \alpha$

Variabel r pada momen inersia digunakan untuk mentransformasi gerakan rotasional FSO Arco Ardjuna terhadap *crane*, r adalah jarak COG FSO Arco

Ardjuna terhadap titik berat *crane*, seperti yang digambarkan pada Gambar 4.77 di bawah ini.



Gambar 4.78 Ilustrasi posisi *bow crane* dari COG FSO Arco Ardjuna

Dari gambar 4.77 diketahui:

- LCG = 87.4 m
- VCG = 13.44 m
- massa *bow crane* = 60.76 Ton
- nilai r untuk kondisi *full load*
 - r_{roll} = 36.015 m
 - r_{pitch} = 38.507 m
 - r_{yaw} = 26.213 m
- nilai r untuk kondisi *light load*
 - r_{roll} = 36.983 m
 - r_{pitch} = 38.362 m
 - r_{yaw} = 25.333 m

Maka nilai beban inersia untuk gerakan rotasional adalah:

Tabel 4.22 Gaya inersia akibat gerakan rotasional kondisi *light load*

Motion	Derajat Kebebasan	Percepatan (rad/s ²)	Momen Inertia (Ton.m ²)	Momen Gaya Inertia (KN)
Roll	0 °	0.0069	44084.426	302.860
	45 °	0.2129	44084.426	9385.133
	90 °	0.2835	44084.426	12496.612
	180 °	0.0010	44084.426	41.880
Pitch	0 °	0.2957	28472.737	8419.673
	45 °	0.1970	28472.737	5609.699
	90 °	0.0022	28472.737	62.355
	180 °	0.2672	28472.737	7607.061
Yaw	0 °	0.0015	15496.285	22.625
	45 °	0.0016	15496.285	24.329
	90 °	0.0043	15496.285	65.859
	180 °	0.0006	15496.285	9.298

Tabel 4.23 Gaya inersia akibat gerakan rotasional kondisi *full load*

Motion	Derajat Kebebasan	Percepatan (rad/s ²)	Momen Inertia (Ton.m ²)	Inertia Force (KN)
Roll	0 °	0.0019	44640.997	83.760
	45 °	0.2573	44640.997	11487.986
	90 °	0.4041	44640.997	18040.195
	180 °	0.0025	44640.997	111.326
Pitch	0 °	0.5267	25129.975	13236.124
	45 °	0.2664	25129.975	6693.899
	90 °	0.0057	25129.975	142.625
	180 °	0.4310	25129.975	10831.198
Yaw	0 °	0.0020	13835.544	28.272
	45 °	0.0040	13835.544	55.861
	90 °	0.0043	13835.544	59.281
	180 °	0.0009	13835.544	12.890

Hasil perhitungan gaya inersia dijadikan sebagai *input* pada software *Ansys Mechanical*.

4.12 Tegangan Axial

Tegangan aksial (tegangan normal) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus terhadap penampang. Berdasarkan data diketahui *maximum axial load* yang bekerja pada *bow cra pedestal* FSO sebesar 118.1 Ton dan momen aksial maksimum yang terjadi sebesar 766.68 Ton.m.

4.13 Perhitungan Beban Angin

Perhitungan beban angin meliputi perhitungan kecepatan, gaya, dan momen angin.

4.13.1 Perhitungan Beban Angin Kecepatan Angin

Data kecepatan angin yang digunakan adalah data kecepatan angin 100 tahunan yaitu 25.7 m/s.

4.13.2 Gaya Angin

Dari data kecepatan angin, kemudian dilakukan perhitungan gaya angin. Perhitungan dilakukan pada cerobong crane pedestal di atas deck dengan pertimbangan struktur tersebut memiliki ketinggian lebih di mana menyebabkan gaya angin menjadi besar. Perhitungan beban angin mengacu pada DnV-RP-C205, persamaan

$$F_w = C_q S \sin \alpha$$

- Untuk mendapatkan tekanan angin q , digunakan persamaan

$$q = \frac{1}{2} \rho_a U_{T,z}^2$$

$$q = \frac{1}{2} \times 1.226 \times 25.7^2 = 404.880 \text{ Pa}$$

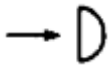
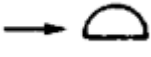
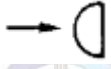
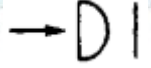
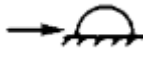

- Untuk mendapatkan nilai koefisien bentuk, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai Reynold Number (Re) dengan persamaan

$$Re = \frac{D \cdot U_{T,z}}{\nu_a}$$

$$Re = \frac{1.346 \times 25.7}{1.55 \times 10^{-5}} = 2.23 \times 10^6$$

- DnV-RP-C205 memberikan nilai koefisien bentuk berdasarkan nilai Reynold Number seperti pada Tabel 4.24 berikut :

Tabel 4.24 Shapes Coefficients *C* for Sphere-Shaped Structure

	Structures	Shape Coefficient	
	<i>Hollow hemisphere, concavity to wind</i>	1.40	
	<i>Hollow hemisphere</i>	0.35	
	<i>Hollow or solid hemisphere, concavity to leeward</i>	0.40	
	<i>Solid hemisphere and circular disc</i>	1.20	
 	<i>Hemisphere on horizontal plane</i>	0.50	
	<i>Sphere</i>	$Re \leq 4.2 \leq 10^5$	0.5
		$4.2 \times 10^5 < Re < .2 \times 10^6$	0.15
		$Re \geq 10^6$	0.20

(Sumber: DNV RP C205, 2007)

Oleh karena itu, nilai koefisien bentuknya adalah 0.15.

- Perhitungan luas bidang silinder yang terkena gaya angin adalah

$$S = 2\pi rL = 2 \times 3.14 \times 0.673 \times 2.348 = 9.924 \text{ m}^2$$

- α adalah sudut boom crane (22.5°)
- Perhitungan gaya angin dapat ditulis dengan persamaan

$$F_w = C_q S \sin \alpha$$

$$F_w = 0.15 \times 383.125 \times 10.956 \times \sin 22.5^\circ = 293.613 \text{ N}$$

4.13.3 Momen Angin

Dari gaya angin dapat dicari momen yang terjadi pada sambungan *crane pedestal* dengan geladak akibat gaya angin. Momen dicari dengan cara mengalikan gaya dengan panjang lengan. Panjang lengan adalah jarak antara

titik pada elevasi tertentu yang terkena gaya angin dengan titik pada *crane pedestal* didekat sambungan dengan geladak dimana dilakukan perhitungan.

Perhitungan untuk momen pada lengan 2.348 m dengan kecepatan angin 25.7 m/s adalah:

$$M = F_w \times l = -293.613 \times 2.348 = 689.403 \text{ N.m}$$

4.14 Beban Angkat Crane

Dari data diketahui kemampuan angkat maksimum crane adalah 116.8 Ton dan *maximum dinamic momen* 1002.2 Ton.m.

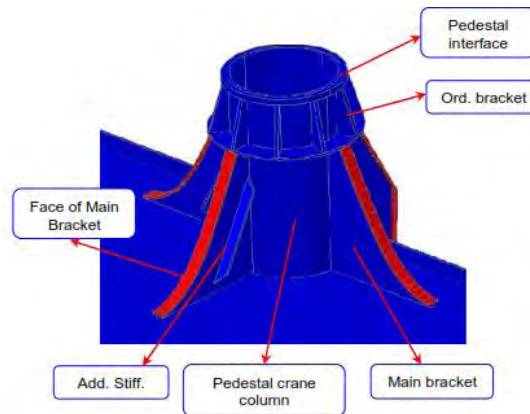
4.15 Pemodelan Submodeling dan Penentuan *Boundary Condition* pada Analisis *Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

4.15.1 Dimensi *Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

Berdasarkan *arrangement drawing outer diameter* dari *bow crane pedestal* ini adalah 1346 mm dengan ketebalan 38 mm dan ketinggian pedestal 2348 mm (dari *main deck*). Tabel 4.25 dibawah ini menunjukkan dimensi keseluruhan konstruksi dari *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna:

Tabel 4.25 Dimensi *Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

<i>Structural Member Name</i>	Units	Dimension
<i>Pedestal Column</i>	mm	1346 OD, thk. 38, height. 2348
<i>Main Bracket (column to main deck)</i>	mm	1600 x 1650 x 46
<i>Face of main bracket</i>	mm	160 x 26
<i>Additional stiffner of main bracket</i>	mm	150 x 26
<i>Pedestal ring</i>	mm	1846 OD, thk. 26
<i>Pedestal interface</i>	mm	1486 OD, Thk. 74
<i>Ordinary bracket (pedestal ring to pedestal interface)</i>	mm	250 x 598 x 46
<i>Distance of pedestal ring to pedestal interface</i>	mm	624



Gambar 4.79 Konstruksi *Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

4.15.2 Pemodelan *Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

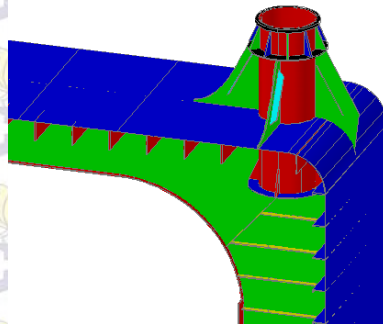
Model konstruksi ini digunakan untuk analisis tegangan konstruksi *bow crane pedestal* di FSO Arco Ardjuna akibat pengaruh gaya inersia, gaya angin dan gaya axial dan momen angkat *crane* yang bekerja pada *crane pedestal*. Pemodelan pada Autocad 3D dibuat berdasarkan dimensi yang didapatkan dari data ukuran asli *construction profile* di FSO Arco Ardjuna dengan memperhatikan *corroton allowance*, sehingga dimensi pada pemodelan yang digunakan 80% dari data awal. Untuk konstruksi di bawah *hull* dimodelkan sepanjang 1.9 m di bawah *hull*, dimana pada posisi ini terdapat *side longitudinal stiffner* 29 (LS 29) yang digunakan sebagai pembatas/ tumpuan untuk konstruksi *crane pedestal* yang ada di bawah *hull*. Jenis material konstruksi *girder* dan plat di FSO menggunakan Baja ASTM A36 dengan *yield strength* sebesar 250 MPa, sedangkan konstruksi *bow crane pedestal* menggunakan data material dari ABS grade A *steel*, berikut adalah *material property* untuk *bow crane pedestal*:

Tabel 4.26 *Material Properties Bow Crane Pedestal* FSO Arco Ardjuna

	<i>Units</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	Ton/mm ³	7.85 x 10 ⁻⁹
<i>Yield Strength</i>	Mpa	235
<i>Shear Modulus</i>	N/m ²	7.93 x 10 ¹⁰
<i>Elastic Modulus</i>	N/m ²	2 x 10 ¹¹



Gambar 4.80 Foto *existing* konstruksi *bow crane pedestal* pada FSO Arco
Ardjuna



Gambar 4.81 Pemodelan *interface* konstruksi *bow crane pedestal* pada CAD 3D

Berikut adalah pembebanan yang diberikan pada *bow crane pedestal* dan sambungan *hull* untuk mendapatkan nilai *stress* maksimum. Analisis dilakukan menggunakan *software Ansys Mechanical* dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut,

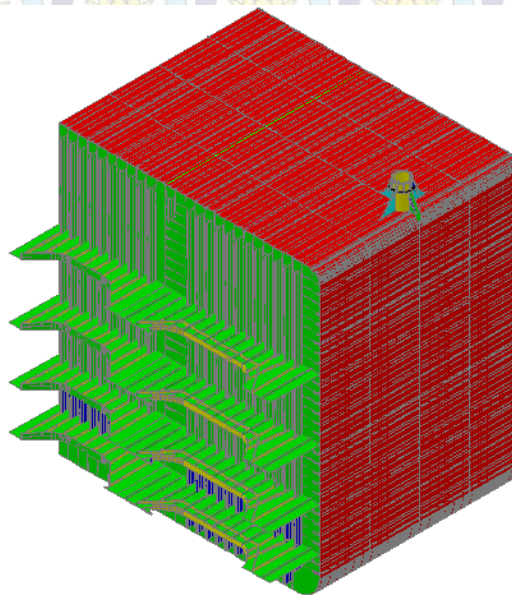
Tabel 4.27 Parameter pembebanan kondisi *light load*

No	Parameter pembebanan		0 °	45°	90 °	180 °	Unit
1	Gaya Inersia	<i>Surge</i>	5.454	3.815	0.047	4.661	kN
		<i>Sway</i>	0.129	3.873	5.176	0.018	kN
		<i>Heave</i>	4.456	4.992	5.246	3.743	kN
		<i>Roll</i>	302.860	9385.133	12496.612	41.880	kN.m
		<i>Pitch</i>	8419.673	5609.699	62.355	7607.061	kN.m
		<i>Yaw</i>	22.625	24.329	65.859	9.298	kN.m
2	<i>Max Axial Load</i>		118.1	118.1	118.1	118.1	Ton
3	<i>Max Dynamic Momen</i>		1002.2	1002.2	1002.2	1002.2	Ton.m
4	<i>Momen Angin</i>		689.403	689.403	689.403	689.403	N.m

Tabel 4.28 Parameter pembebanan kondisi *full load*

No	Parameter pembebanan		0 °	45°	90 °	180 °	Unit
1	Gaya Inersia	<i>Surge</i>	8.359	3.661	0.115	6.219	kN
		<i>Sway</i>	0.073	3.640	5.305	0.055	kN
		<i>Heave</i>	5.762	9.439	11.827	8.827	kN
		<i>Roll</i>	111.326	11487.986	18040.195	83.760	kN.m
		<i>Pitch</i>	13236.124	6693.899	142.625	10831.198	kN.m
		<i>Yaw</i>	28.272	55.861	59.281	12.890	kN.m
2	<i>Max Axial Load</i>		118.1	118.1	118.1	118.1	Ton
3	<i>Max Dynamic Momen</i>		1002.2	1002.2	1002.2	1002.2	Ton.m
4	<i>Momen Angin</i>		689.403	689.403	689.403	689.403	N

Sub modeling dari pemodelan global yang dilakukan berdasarkan lokasi *bow crane pedestal* sesuai dengan *longitudinal section* FSO Arco Ardjuna dapat dilihat pada gambar 4.82 di bawah ini.



Gambar 4.82 Sub modeling analisis tegangan global pada frame 16-20 FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan CAD 3D

Dalam analisis distribusi tegangan ini, beban yang diinputkan adalah setengah dari nilai *shear force* dan *bending momen* pada frame 20. Beban *shear force* dan *bending momen* yang digunakan adalah pada kondisi *sagging* karena pada kondisi ini terjadi SFBM terbesar. Dengan besar *shear force* dan *bending*

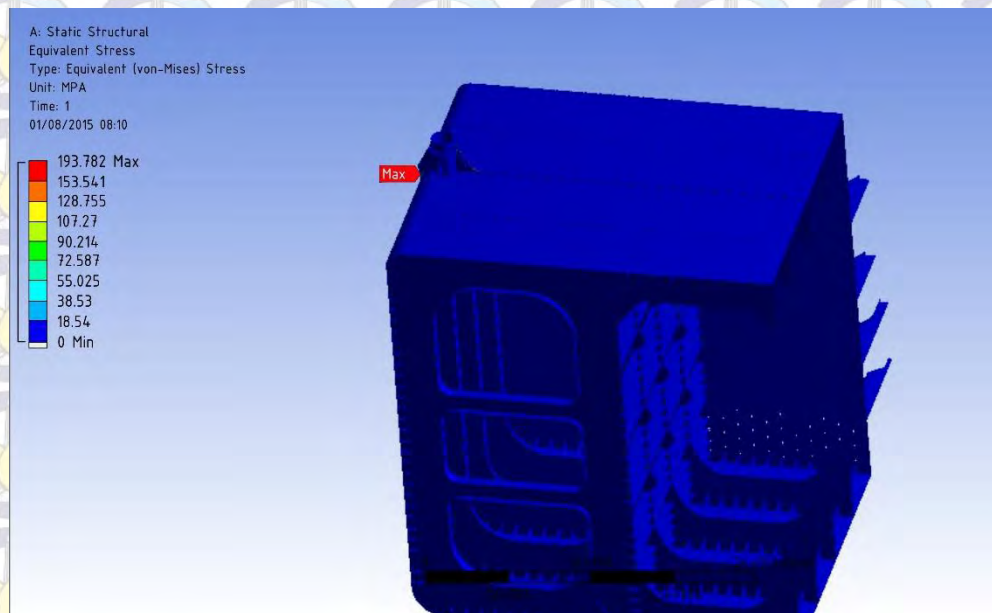
momen untuk muatan *light load* (3448 Ton dan -51746.55 Ton.m) sedangkan pada muatan *full load* (9160 Ton dan 293022.6 Ton.m). *Boundary condition* untuk sub modeling ini adalah sebagai berikut, bagian sambungan daerah *centreline* diberi tumpuan engsel, untuk frame 16 diberi tumpuan fix, untuk frame 20 diberikan beban *shear force* arah sumbu z dan *bending momen* arah sumbu y yang bekerja pada frame tersebut, sedangkan untuk frame 17, 18 dan 19 diberikan gaya dari setengah dari DWT yang bekerja pada masing-masing frame tersebut.

Tabel 4.28 Parameter beba DWT kondisi *full load* dan *light load*

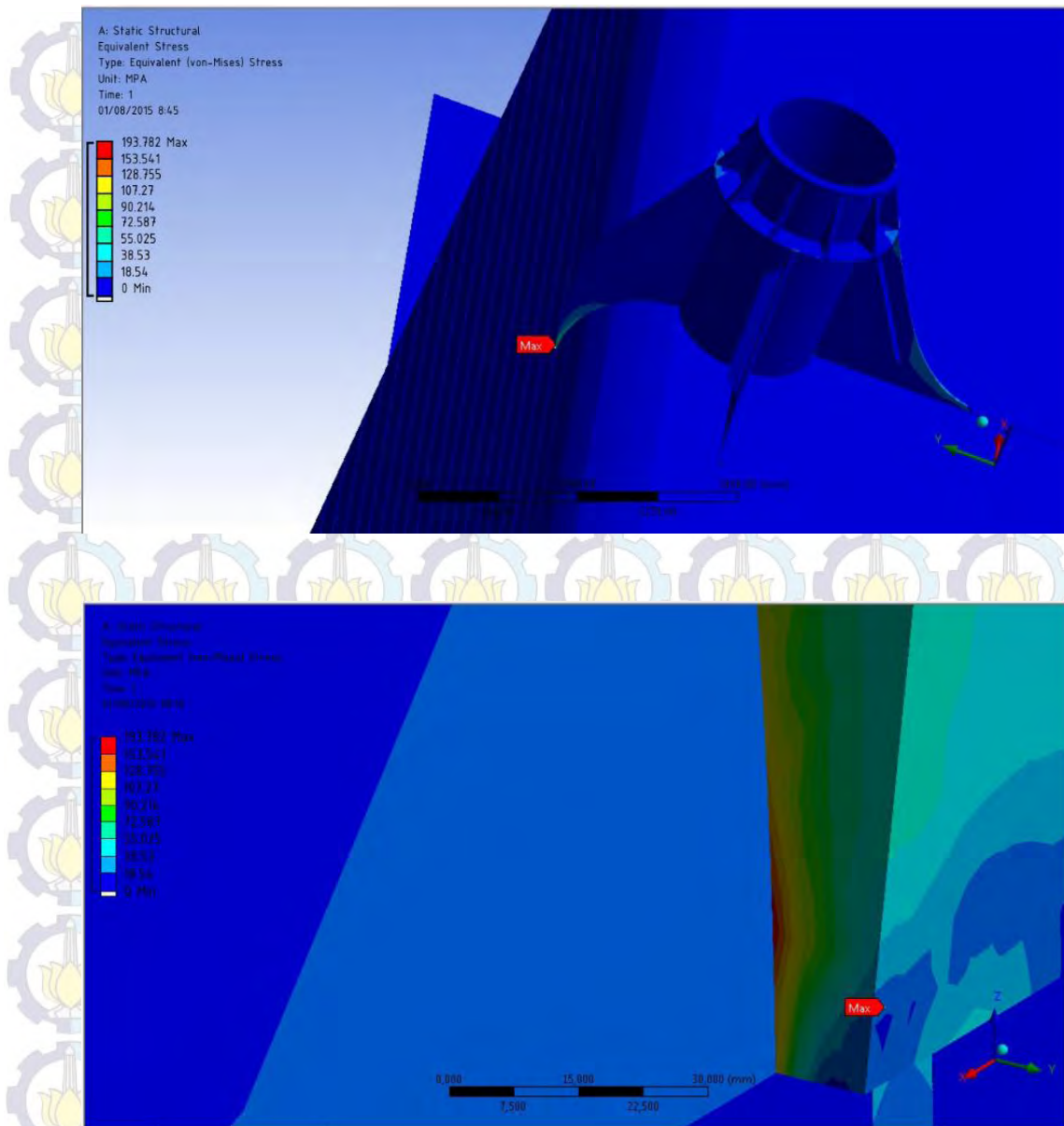
No	Parameter pembebanan	Frame	Value	Unit
1	<i>Full Load</i>	17	5118.053	Ton/ m
		18	5126.023	Ton/ m
		19	5133.993	Ton/ m
2	<i>Light Load</i>	17	1094.880	Ton/ m
		18	1095.398	Ton/ m
		19	1095.917	Ton/ m

4.16 Analisis Tegangan Kontruksi Bow Crane Pedestal FSO Arco Ardjuna

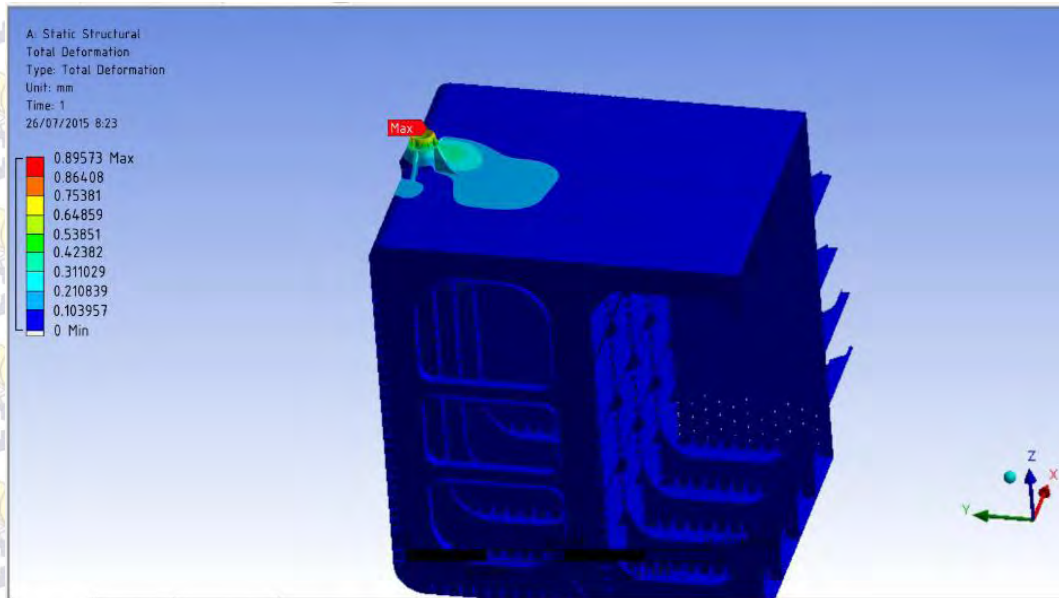
Berikut ini adalah hasil tegangan *Von Mises* dan deformasi maksimum untuk 8 kondisi variasi pembebanan yang dilakukan pada kontruksi *bow crane pedestal* FSO Arco Ardjuna.



Gambar 4.83 (a) Distribusi tegangan tegangan maksimum pada *bow crane pedestal* FSO Arco Adrjuna pada kondisi *full load* arah pembebanan 0°



Gambar 4.83 (b) Lokasi distribusi tegangan tegangan maksimum pada *bow crane pedestal* FSO Arco Adrjuna pada kondisi *full load* arah pembebanan 0°



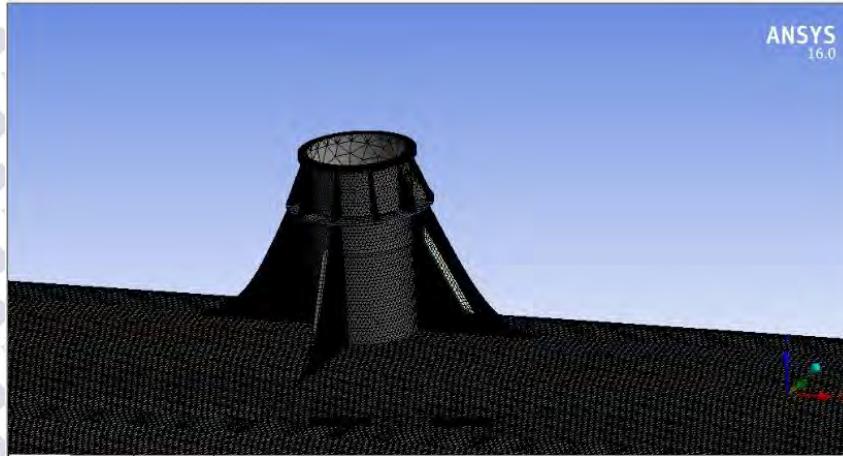
Gambar 4.83 (c) Distribusi tegangan dan defromasi maksimum pada *bow crane pedestal* FSO Arco Adrjuna pada kondisi *full load* arah pembebanan 0°

Pada kondisi *full load* didapatkan tegangan *von misses* sebesar 193.782 Mpa.

Untuk tingkat akurasi dalam *meshing* diperlukan analisis sensitifitas *meshing*.

Sensitivity Analysis dilakukan untuk mengecek apakah tegangan yang dihasilkan dari hasil *running* sudah benar atau sudah mendekati nilai kebenaran. Pada Tugas Akhir ini, uji *sensitivity* dilakukan dengan cara variasi kerapatan *meshing*. Berdasarkan variasi kerapatan *meshing* tersebut akan didapatkan hasil *equivalent stress* atau yang lebih dikenal dengan *Von Mises Stress*. Dari beberapa hasil tegangan yang dihasilkan dianalisis hingga didapat perbedaan hasil yang kurang dari 5%.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan *running* dengan 7 kondisi kerapatan *meshing*.

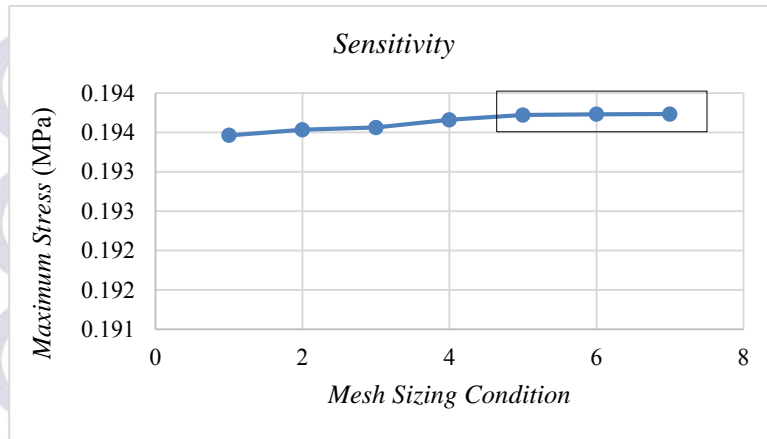


Gambar 4.84 Model elemen dengan meshing 150 mm

Gambar di atas merupakan contoh *mesh* pada struktur. *Meshing* dilakukan dengan kerapatan 500 mm, 450 mm, 250 mm, 200 mm, 175 mm, 160 mm dan 150 mm. Berdasarkan variasi *mesh* yang dilakukan, didapatkan tabulasi *mesh* sebagai berikut:

Tabel 4.29 Tabulasi hasil *Maximum Von Mises Stress* untuk variasi kerapatan *meshing*

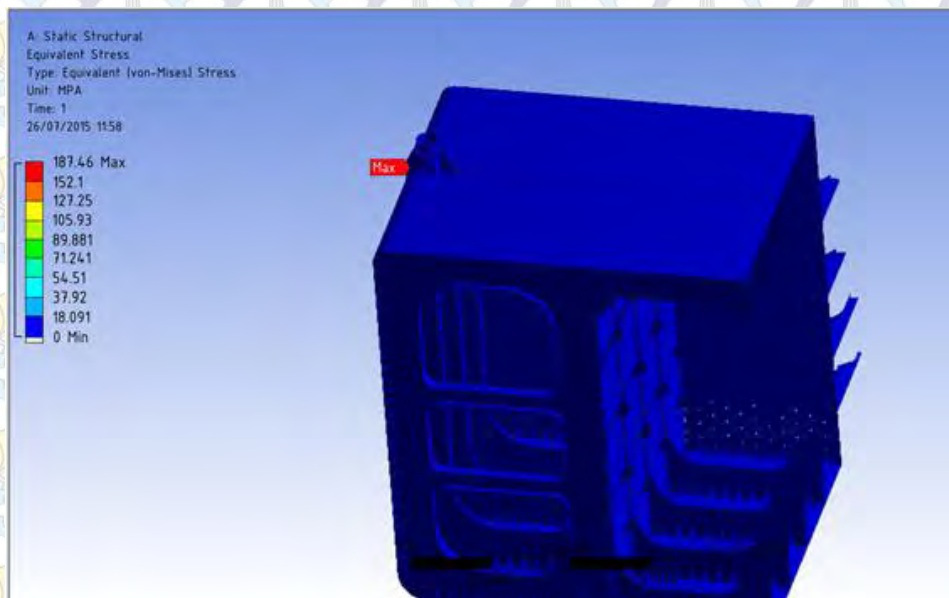
<i>Condition</i>	<i>Mesh Sizing (m)</i>	<i>Nodes</i>	<i>Elements</i>	<i>Max Stress (MPa)</i>	<i>Error</i>
1	500	861610	128311	193.512	
2	450	866117	129814	193.582	3.6%
3	250	901794	165491	193.612	1.5%
4	200	948583	182280	193.709	5.0%
5	175	998021	191718	193.769	3.1%
6	160	1005359	196360	193.780	0.6%
7	150	1060538	198081	193.782	0.1%



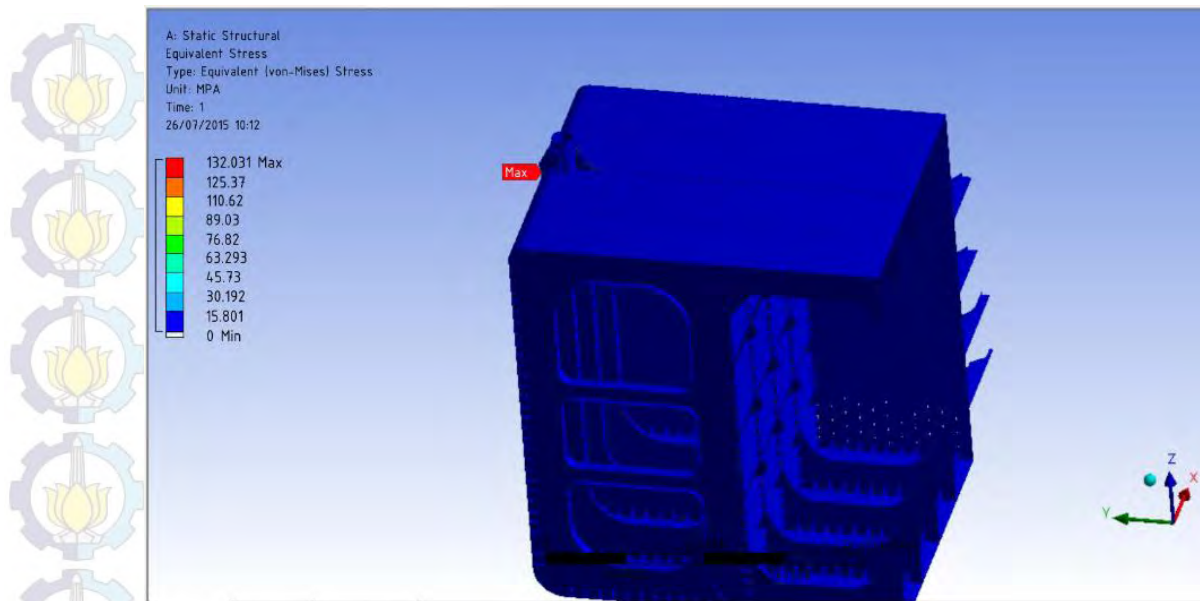
Gambar 4.85 Sensitivitas model konstruksi *bow crane pedestal*

Berdasarkan Tabel 4.29 dan grafik pada Gambar 4.85 dapat disimpulkan bahwa struktur *bow crane pedestal* pada FSO Arco Ardjuna dapat dengan baik dimodelkan pada ukuran *mesh* 150 mm karena hasil perhitungan *error* untuk *mesh* ini kurang dari 5%.

Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan kondisi *full load* dan *light load* dengan 3 arah pembebanan yaitu 0°, 45°, 90° dan 180° pada masing-masing kondisi.

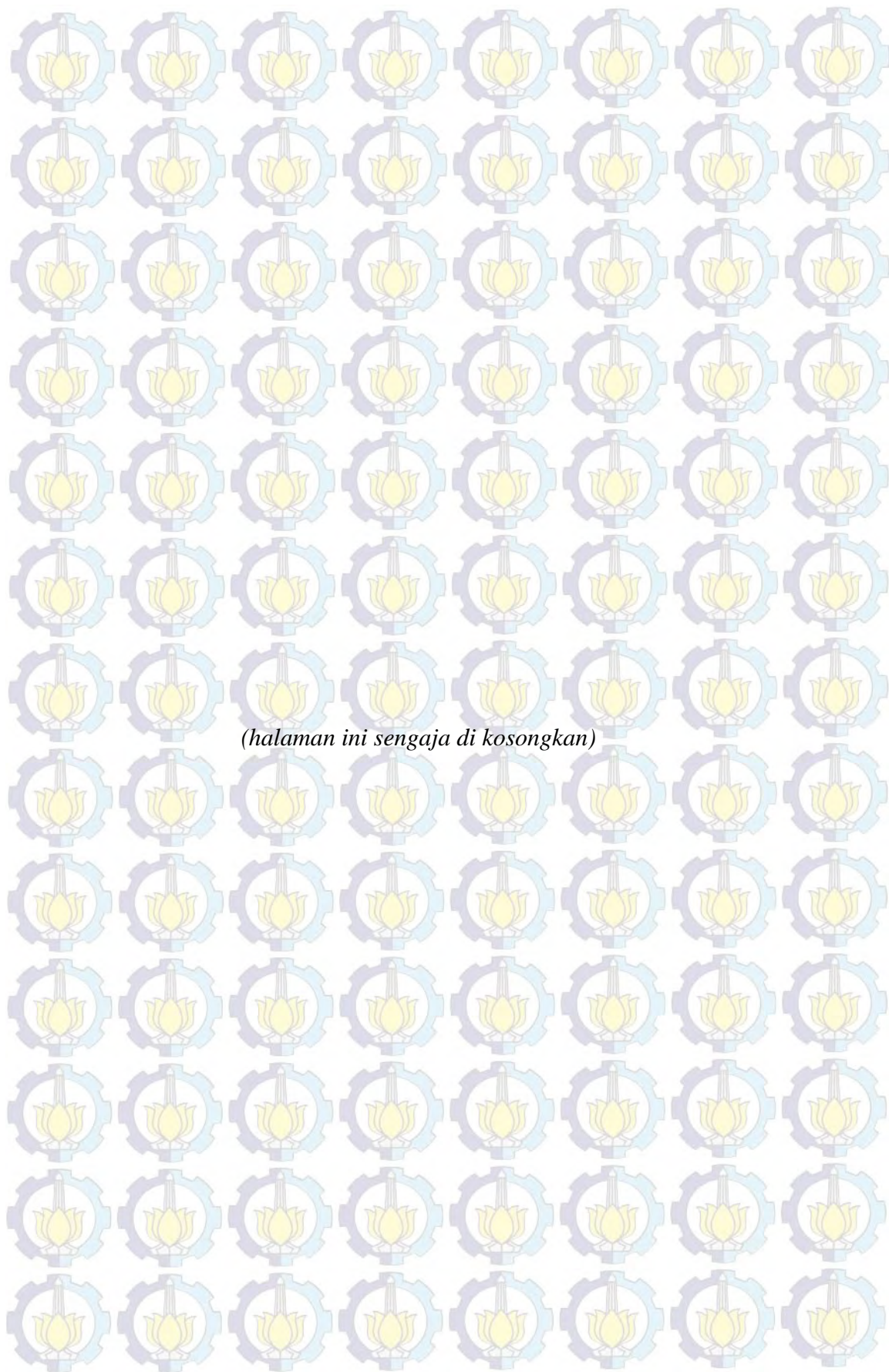


Gambar 4.86 Stress maximum pada *bow crane pedestal* pembebanan 90° kondisi *Full Load*



Gambar 4.87 *Stress maximum pada bow crane pedestal pembebanan 0° kondisi Light Load*

Berdasarkan hasil *running* menggunakan *software* Ansys Mechanical, menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada sambungan *pedestal crane* dengan konstruksi *crane*. Berdasarkan hasil *meshing* dan pembebanan yang dilakukan dari *running* didapatkan hasil tegangan maksimum sebesar 193.782 MPa pada kondisi *full load* dengan arah pembebanan 0°. Berdasarkan material yang digunakan, yaitu baja *ABS Grade A steel* dengan nilai *yield strength* 235 MPa dan mengacu pada ketentuan ABS yang menganjurkan tegangan *Von Mises* tidak boleh melebihi 90% (ABS “SH-DLA” Sec.11 Page 35) dari *yield strength material*, yaitu 211.5 MPa, maka struktur ini dapat dikatakan aman untuk beroperasi. Untuk deformasi, nilai deformasi terbesar yang terjadi pada struktur yang telah dimodelkan adalah sebesar 0.89573 mm. Nilai ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan syarat deformasi maksimum yang tercantum dalam ABS “*Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction*” yaitu 6 mm. Dengan demikian, struktur dapat dinyatakan aman untuk beroperasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Respon struktur FSO Arco Ardjuna akibat beban gelombang pada saat *free floating* dan tertambat, adalah sebagai berikut :

- RAO FSO Arco Ardjuna, pada saat *free floating* nilai terbesar terjadi pada kondisi *full load* sebesar 0.214 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.600 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.982 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 1.714 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1.971 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.550 (deg/m) pada *heading* 45°
- RAO FSO Arco Ardjuna, pada saat *free floating* nilai terbesar terjadi pada kondisi *light load* sebesar *surge* tertinggi ialah sebesar 0.779 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 1.229 (m/m), dan tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.921 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 5.000 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1.099 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.779 (deg/m) pada *heading* 45°
- RAO FSO Arco Ardjuna, pada saat tertambat nilai terbesar terjadi pada kondisi *full load* bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.0010 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 45° sebesar 0.0004 (m/m), dan *heave* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.0009 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 0.0018 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.0003 (deg/m) pada *heading* 0°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.0003 (deg/m) pada *heading* 45°.

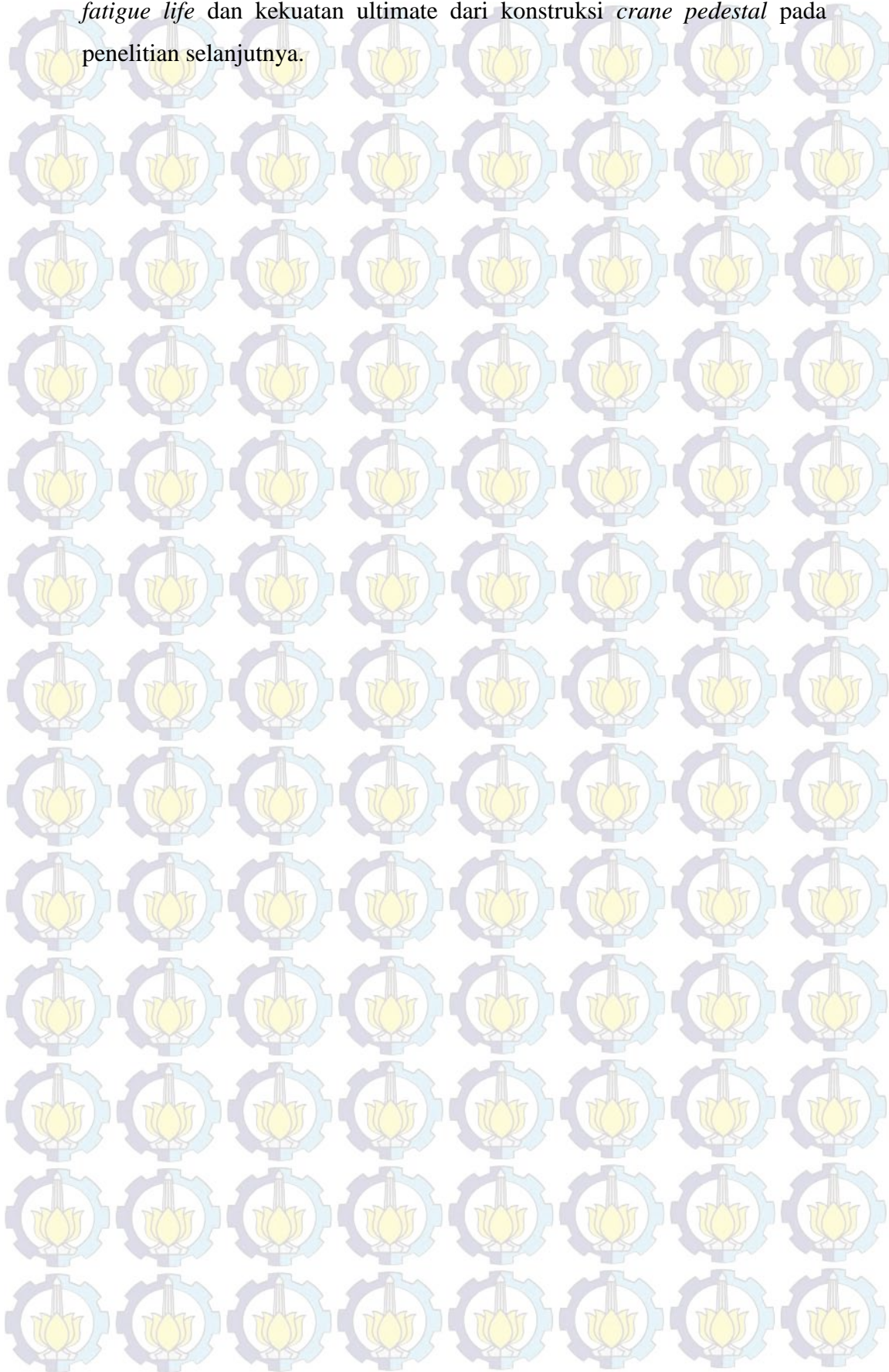
- RAO FSO Arco Ardjuna, pada saat tertambat nilai terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan 0.134 (m/m) yaitu pada *heading* 0° , *sway* tertinggi pada *heading* 45° sebesar 0.035 (m/m), dan tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0.140 (m/m). Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 45° sebesar 0.044 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.004 (deg/m) pada *heading* 0° , dan *yaw* maksimum sebesar 0.014 (deg/m) pada *heading* 90° .
- 2. Nilai *shear force bending momen* terbesar terjadi pada kondisi *sagging* pada masing-masing muatan, dengan kondisi *full load* nilai *shear force* sebesar 18320 ton dan *bending momen* -586045.2 Ton.m. Sedangkan pada kondisi *light load* nilai *shear force* sebesar 7093 ton dan *bending momen* sebesar -226999.65 Ton.m.
- 3. Letak *stress maximum* terletak pada sambungan *main bracket crane pedestal* dengan *hull* dan didapatkan tegangan maksimum sebesar 193.782 MPa dengan deformasi 0.89573 mm. Nilai tegangan maksimum tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin yang dianjurkan oleh ABS "Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems" sebesar 211.5 MPa. Dan Nilai deformasi yang dihasilkan juga masih lebih kecil jika dibandingkan dengan syarat deformasi maksimum yang tercantum dalam ABS "Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction" yaitu 6 mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konstruksi *bow crane pedestal* aman untuk beroperasi.

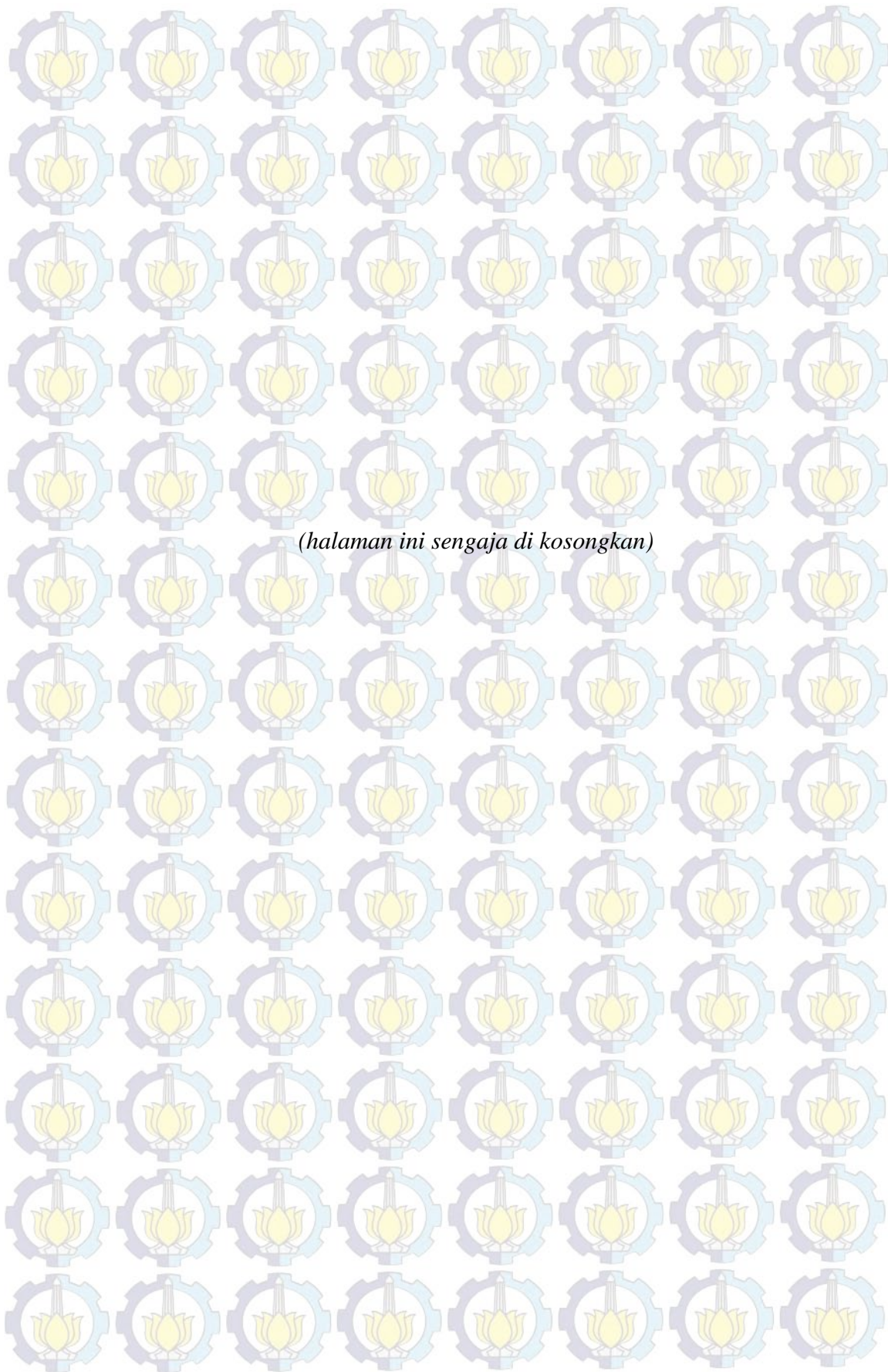
5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil analisis ini adalah

1. Pada tugas akhir ini beban gelombang yang diperhitungkan adalah beban gelombang reguler agar perhitungan lebih sesuai dengan kondisi sesungguhnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan beban gelombang acak.
2. Tugas akhir ini hanya menentukan tegangan maksimum pada kekuatan konstruksi *crane pedestal* sehingga dapat dilanjutkan dengan perhitungan

fatigue life dan kekuatan ultimate dari konstruksi *crane pedestal* pada penelitian selanjutnya.





DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2014. '*Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structure*. USA.
- API RP 2C 6th edition. 2004. "*Specification for Pedestal Mounted Offshore Cranes*", USA.
- API RP 2FPS. 2001. *Recommend Practice for Planning, Design, and Construction Floating Production System*. USA
- Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Chakrabarti, SK. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Dawson. Thomas, H. 1983. "*Offshore Structural Engineering*". Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey.
- Djarmiko, EB. 2003. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya.
- DNV RP C205, 2010, *Environmental Conditions and Environmental Loads*, Norway.
- Hakim, TR. 2012. *Analisis Kekuatan Konstruksi Crane Pedestal Pada Mooring Storage Tanker Niria*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- Langen, I. dan Than, TK. 2003. "*Simulation OF Dynamic Behaviour of a FPSO Crane*". Stavanger University College. Stavanger.
- Lee, JM. et al. 2011. *Coupling Analysis of Finite Element and Finite Volume Method for the Design and Construction of FPSO Crane*. Pusan National University. Korea
- Murtedjo, Mas. 1999. *Handout Teori Bangunan Apung*. ITS Press. Surabaya
- Ochi, MK. 1973. "*On Prediction of Extreme Value*", Journal of Ship Research. SNAME. Vol. 17. No. 1. PP: 29-37.
- Oil Companies International Marine Forum. 2009. *Tandem Mooring & Offloading Guidelines for Conventional Tankers at F(P)SO Facilities*. Witherby Seamanship International. United Kingdom.

Patel, M. H. and Witz, J. A., 1991, *Compliant Offshore Structures*, Butterworth-Heinemann Ltd, London.

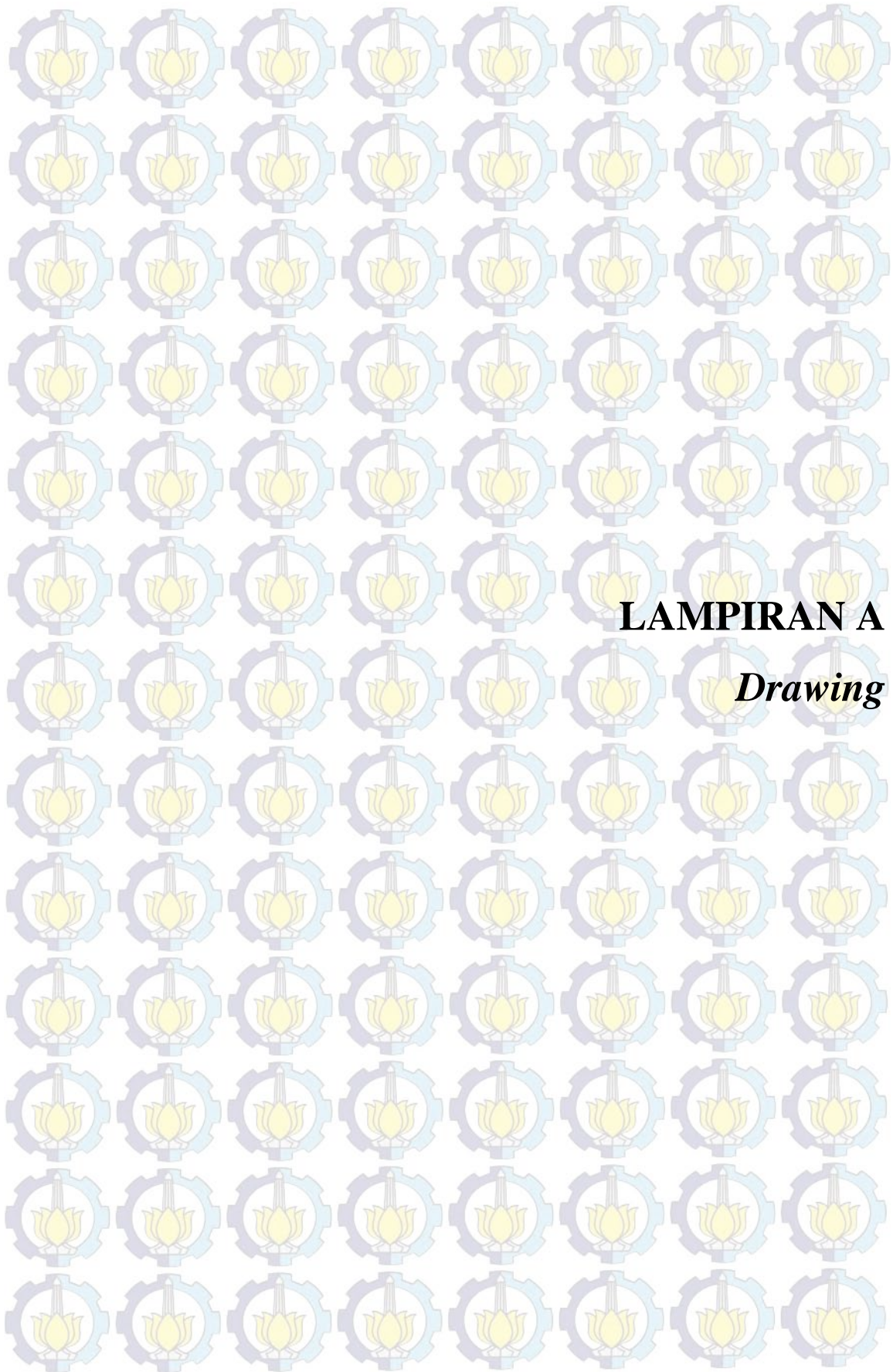
Peurifoy, RL. 1996. “*Costruction Planning, Equipment, and Methods 5th Edition*”, The McGraw-Hill Companies. New York.

Popov, EP. 1996. *Mekanika Teknik*. Erlangga. Jakarta.

PT. Citra Mas Surabaya. *General Arrangement*. Surabaya.

Soedjono, J. J., 1989, *Kuliah Perencanaan Sistem Bangunan Laut*, Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan.

Witz, JA. 1995. “*Parametric excitation of crane loads in Moderate Sea State*”. Ocean Engineering. Vol. 22. PP. 4: 441-420.



LAMPIRAN A

Drawing

DECK LONGITUDINAL

DECK TRANS ON SWASH BHD

BOTTOM LONGITUDINAL

BOTTOM TRANS ON SWASH BHD

VERTICAL STIFFENERS ON TRANS OF BHD

VERTICAL CORNER IN LSC

The floor plan shows a large, irregularly shaped building with a prominent curved front. The central area is a large hall or living space, surrounded by smaller rooms, including a kitchen, dining area, and several bedrooms. The plan is detailed with room names, dimensions, and architectural symbols. The building is situated on a street, with a sidewalk and road visible on the right side. The overall layout suggests a communal living space designed for a group of people.

[illegible][illegible][illegible][illegible]

LENGHT (P.P)	142,60 M
LENGHT (L.W.L)	142,60 M
BREADHT (MLD)	48,20 M
DEPHT (MLD)	26,50 M
DRAFT (MLD)	24,00 M

BASE CATALYST	CHLOROPICOTIC ACID, 100 g/L	CHLOROPICOTIC ACID, 100 g/L
Run	Reaction Temperature, °C	Reaction Time, h
1	100	1
2	100	2
3	100	3
4	100	4
5	100	5
6	100	6
7	100	7
8	100	8
9	100	9
10	100	10
11	100	11
12	100	12
13	100	13
14	100	14
15	100	15
16	100	16
17	100	17
18	100	18
19	100	19
20	100	20
21	100	21
22	100	22
23	100	23
24	100	24
25	100	25
26	100	26
27	100	27
28	100	28
29	100	29
30	100	30
31	100	31
32	100	32
33	100	33
34	100	34
35	100	35
36	100	36
37	100	37
38	100	38
39	100	39
40	100	40
41	100	41
42	100	42
43	100	43
44	100	44
45	100	45
46	100	46
47	100	47
48	100	48
49	100	49
50	100	50
51	100	51
52	100	52
53	100	53
54	100	54
55	100	55
56	100	56
57	100	57
58	100	58
59	100	59
60	100	60
61	100	61
62	100	62
63	100	63
64	100	64
65	100	65
66	100	66
67	100	67
68	100	68
69	100	69
70	100	70
71	100	71
72	100	72
73	100	73
74	100	74
75	100	75
76	100	76
77	100	77
78	100	78
79	100	79
80	100	80
81	100	81
82	100	82
83	100	83
84	100	84
85	100	85
86	100	86
87	100	87
88	100	88
89	100	89
90	100	90
91	100	91
92	100	92
93	100	93
94	100	94
95	100	95
96	100	96
97	100	97
98	100	98
99	100	99
100	100	100

Age	Sex	ACE-inhibitor use	ACE-inhibitor dose
1	Male	0.0	0.0
2	Female	0.0	0.0
3	Male	0.0	0.0
4	Female	0.0	0.0
5	Male	0.0	0.0
6	Female	0.0	0.0
7	Male	0.0	0.0
8	Female	0.0	0.0
9	Male	0.0	0.0
10	Female	0.0	0.0
11	Male	0.0	0.0
12	Female	0.0	0.0
13	Male	0.0	0.0
14	Female	0.0	0.0
15	Male	0.0	0.0
16	Female	0.0	0.0
17	Male	0.0	0.0
18	Female	0.0	0.0
19	Male	0.0	0.0
20	Female	0.0	0.0
21	Male	0.0	0.0
22	Female	0.0	0.0
23	Male	0.0	0.0
24	Female	0.0	0.0
25	Male	0.0	0.0
26	Female	0.0	0.0
27	Male	0.0	0.0
28	Female	0.0	0.0
29	Male	0.0	0.0
30	Female	0.0	0.0
31	Male	0.0	0.0
32	Female	0.0	0.0
33	Male	0.0	0.0
34	Female	0.0	0.0
35	Male	0.0	0.0
36	Female	0.0	0.0
37	Male	0.0	0.0
38	Female	0.0	0.0
39	Male	0.0	0.0
40	Female	0.0	0.0
41	Male	0.0	0.0
42	Female	0.0	0.0
43	Male	0.0	0.0
44	Female	0.0	0.0
45	Male	0.0	0.0
46	Female	0.0	0.0
47	Male	0.0	0.0
48	Female	0.0	0.0
49	Male	0.0	0.0
50	Female	0.0	0.0
51	Male	0.0	0.0
52	Female	0.0	0.0
53	Male	0.0	0.0
54	Female	0.0	0.0
55	Male	0.0	0.0
56	Female	0.0	0.0
57	Male	0.0	0.0
58	Female	0.0	0.0
59	Male	0.0	0.0
60	Female	0.0	0.0
61	Male	0.0	0.0
62	Female	0.0	0.0
63	Male	0.0	0.0
64	Female	0.0	0.0
65	Male	0.0	0.0
66	Female	0.0	0.0
67	Male	0.0	0.0
68	Female	0.0	0.0
69	Male	0.0	0.0
70	Female	0.0	0.0
71	Male	0.0	0.0
72	Female	0.0	0.0
73	Male	0.0	0.0
74	Female	0.0	0.0
75	Male	0.0	0.0
76	Female	0.0	0.0
77	Male	0.0	0.0
78	Female	0.0	0.0
79	Male	0.0	0.0
80	Female	0.0	0.0
81	Male	0.0	0.0
82	Female	0.0	0.0
83	Male	0.0	0.0
84	Female	0.0	0.0
85	Male	0.0	0.0
86	Female	0.0	0.0
87	Male	0.0	0.0
88	Female	0.0	0.0
89	Male	0.0	0.0
90	Female	0.0	0.0
91	Male	0.0	0.0
92	Female	0.0	0.0
93	Male	0.0	0.0
94	Female	0.0	0.0
95	Male	0.0	0.0
96	Female	0.0	0.0
97	Male	0.0	0.0
98	Female	0.0	0.0
99	Male	0.0	0.0
100	Female	0.0	0.0

X2	01/05/12	REDRAWING	HR	PN	SIS
X1	1/05/04	AS BUILT	WH	BGP	CIT
X1	26/04/04	ISSUED FOR COMMENTS AND CLASS APPROVAL	SKN	BGP	CIT
Rev.	Date	Issued	Prep'd	Chk'd	App'd

BUILDER:  PT. BIRO KLASIFIKASI INDONESIA (PERSERO) UNIT KONSULTANSI & SUPERVISI Address : Jln. Seberida No. 29 - 41 Tanjung Priuk, Jakarta - 10250 INDONESIA Phone : (62) 021-7082022, 7082034, 7082035, 7082037	CONTRACTOR :		
	ISSUING NO.	SHEET NO.	REVISION

Client	JOB NO.	ISSUING NO.	DRAWING NO.	REV.	ANS. DATE	INTER-DEPT. REVIEW
BKI		PROJ. NO.	SEC. NO.	SEC. 1	SEC. 2	SEC. 3
				1 OF 1	X2	A0
						SIS
Project Ref. : 137-0134	* OIL STORAGE BARGE *			Revised	ARCO ARQUENA	
	REDRAWING					

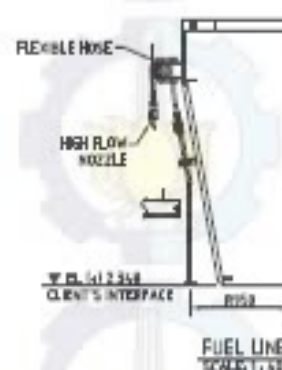
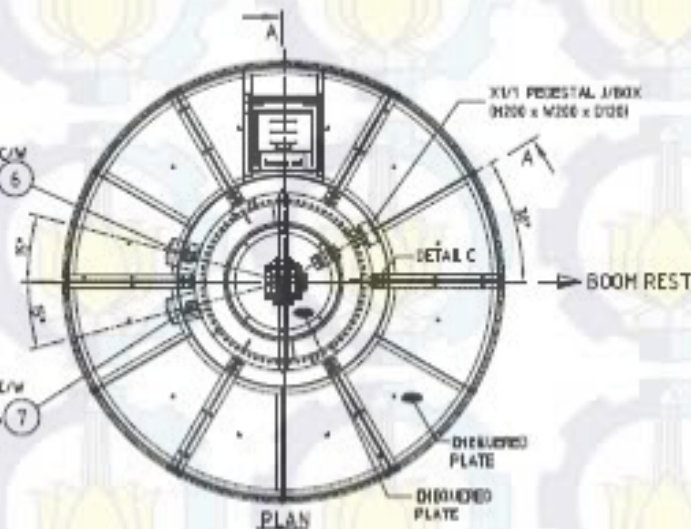
Title		MIDSHIP SECTION		Scale	
Drawing No.		0454 - 27.04 - 0130/05 - 12		Sheet No. 1 OF 1	
COMPANY :		PT. PERTAMINA HULU ENERGY - ONWJ		CLASS APPROVAL	

This drawing is drawing and the design & patent are the property of SP, INDONESIA. It is hereby loaned on borrower's expressed agreement that it will not be loaned, reproduced or disclosed in papers or otherwise used privately and then only in a manner which is within control by the lender.

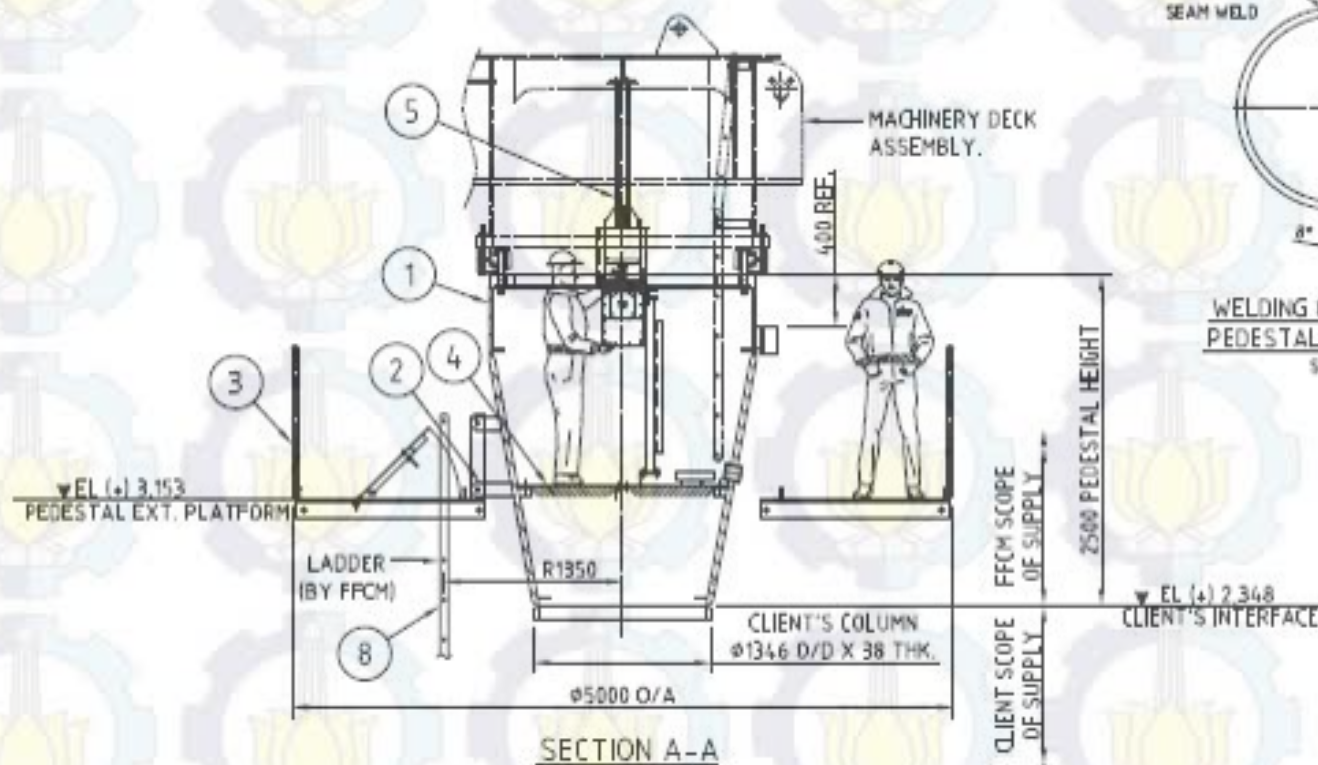
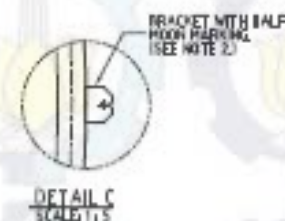


DRAIN PIPELINE C/W
2" ANSI CLASS
150 FLANGE-EP

FUEL PIPELINE C/W
1" ANSI CLASS
150 FLANGE-EP



WELDING ORIENTATION FOR
PEDESTAL ADAPTOR (CONE)
SCALE: 1:40



NOTES

1. FOR BILL OF MATERIAL (BOM), REFER TO BOM NO. M7000-0476-X00.
2. BRACKET WITH HALF MOON MARKING IS REFERRING TO BOOM REST DIRECTION.

VENDOR DRAWING NO. : M7000-0476-X00 PAGE : 1 OF 1

NOTES :

FOR APPROVAL

CONTRACT NO.

WORK ORDER NO.

DOC NO.

PRIMER TITLE : ABCD JUDAH PEO

REVISION

NO.

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE

BY

DATE



PERTAMINA
PHE GNWJ



PT PHE GNWJ

TLC

PEDESTAL ASSEMBLY

SCALE

DATE

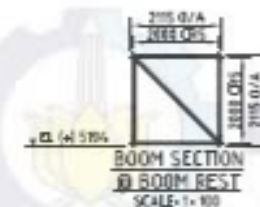
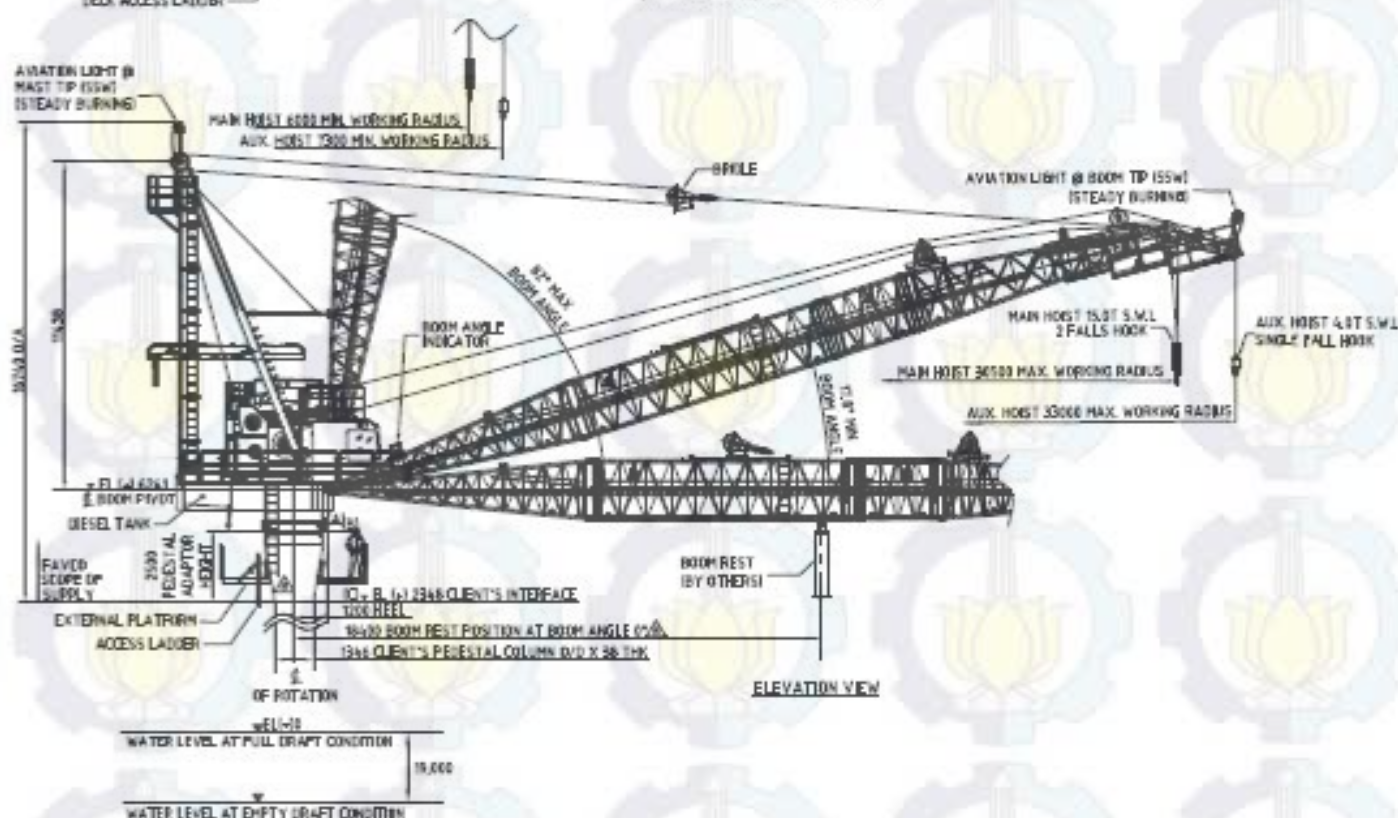
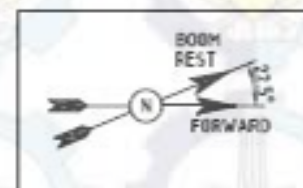
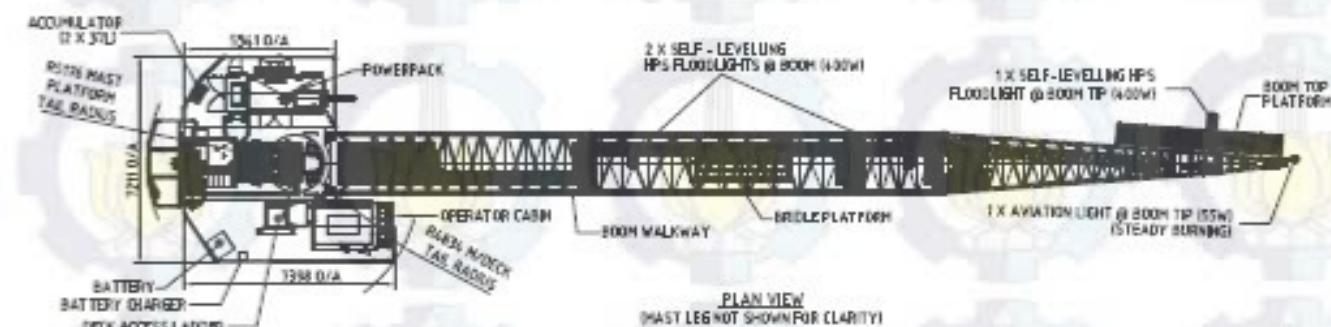
BY

DATE

BY

DATE

CP-AA-M-ECL-5023



BOOM REST LOADING
 VERTICAL LOAD +16.3 T
 HORIZONTAL LOAD +3.3 T
 (DUE TO WIND LOAD)

<div>REVISED</div> <div>FOR APPROVAL</div>	OBJECT NO.		WORK ORDER NO.		MOC NO.		PROJECT NAME : ARD ARUNA 270		FILE	
	NO.	DATE	DESCRIPTION	STATUS	DATE	DATE	PROJECT APPROVAL	PT. HSE. APPROVAL	<div>PERTAMINA PHE ONWJ</div>	
	1	10.05.14	ISSUE FOR APPROVAL	YES	YES	YES	PROJECT APPROVAL	PROJECT APPROVAL		
	2	10.05.14	ISSUE FOR REVIEW	YES	YES	YES	PROJECT APPROVAL	PROJECT APPROVAL	<div>GENERAL ARRANGEMENT</div>	
REV. BY		DATE	DESCRIPTION	STATUS	DATE	DATE	PROJECT APPROVAL	PROJECT APPROVAL		
REV. BY		DATE	DESCRIPTION	STATUS	DATE	DATE	PROJECT APPROVAL	PROJECT APPROVAL	<div>SCALE: NONE</div> <div>CHANGING NO. CP-AA-M-GEN-5004</div>	



S/N 2114 (6/10K) - 30.5m BOOM
MAIN HOIST 2 FALLS / AUX. HOIST 1 FALL
/BOOM HOIST 8 FALLS
FSD ARCO ARJUNA
TAG NO.:AA-FWD-CR

BOOM ANGLE (°)	RADIUS (m)	S.W.L (IN TONNES)							
		S.W.H : 1.0m		S.W.H : 1.5m		S.W.H : 2.0m		S.W.H : 2.5m	
		ONBOARD	OFFBOARD	ONBOARD	OFFBOARD	ONBOARD	OFFBOARD	ONBOARD	OFFBOARD
62.0	6.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
78.1	8.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
74.2	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.8
70.3	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	11.8
66.2	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.7	15.0	9.6
64.1	15.0	15.0	15.0	15.0	14.8	15.0	11.5	15.0	8.7
62.0	16.0	15.0	15.0	15.0	13.5	15.0	10.5	15.0	7.9
57.6	18.0	15.0	14.4	15.0	11.5	15.0	8.8	15.0	6.6
53.0	20.0	15.0	12.4	14.8	9.8	14.1	7.5	13.4	5.6
48.1	22.0	13.4	10.8	12.9	8.5	12.4	6.5	11.8	4.8
42.8	24.0	11.8	9.5	11.3	7.5	10.9	5.7	10.4	4.1
36.8	26.0	10.3	8.4	10.0	6.6	9.6	5.0	9.2	3.7
29.8	28.0	9.1	7.6	8.9	6.0	8.6	4.6	8.2	3.3
20.7	30.0	8.1	7.0	7.9	5.6	7.7	4.3	7.4	3.1
17.8	30.5	7.9	6.9	7.7	5.5	7.5	4.1	7.3	3.0

AUX. HOIST 4.0T @ ALL RADII (MIN.7.3m - MAX.33.0m)
PERSONNEL LIFT 1.0 T @ ALL RADII
API 2C MINIMUM RECOMMENDED HOOK SPEED: 14.1 m/min
MAXIMUM OPERATING WIND SPEED: 16.0 m/sec
RATING METHOD: GENERAL METHOD
≤ 5° LIST ANGLE CONDITION

LOADINGS @ SLEW RING (A)

MACHINERY DECK ASSEMBLY	30.6 T
POWERPACK ASSEMBLY	4.4 T
PEDESTAL ASSEMBLY	7.3 T
BOOM ASSEMBLY	10.0 T
BRIDLE ASSEMBLY	0.6 T
MAIN HOOK ASSEMBLY	0.6 T
PLY HOOK ASSEMBLY	0.2 T
RIGGING WEIGHTS	2.2 T
TOTAL CRANE WEIGHTS (DRY)	57.9 T
TOTAL CRANE WEIGHTS (OPERATION)	64.76 T

LOADINGS @ SLEW RING (A)

MAX. DYNAMIC MOMENT	: 666.5 Tm
CORRESPONDING AXIAL LOAD	: 87.8 T
MAX. AXIAL LOAD	: 90.7 T
CORRESPONDING DYNAMIC MOMENT	: 505.6 Tm

LOADINGS @ PEDESTAL LEVEL (B)

INCLUDES PEDESTAL FACTOR 1.5, CATEGORY 1 OR CATEGORY 2 DESIGN LOADS IN ACCORDANCE WITH API-2C

MAX. DYNAMIC MOMENT	: 1002.2 Tm
CORRESPONDING AXIAL LOAD	: 109.5 T
MAX. AXIAL LOAD	: 110.8 T
CORRESPONDING DYNAMIC MOMENT	: 766.66 Tm

LOADINGS @ CLIENT'S INTERFACE STRUCTURE (C)

INCLUDES PEDESTAL FACTOR 1.5, CATEGORY 1 OR CATEGORY 2 DESIGN LOAD IN ACCORDANCE WITH API-2C

MAX. DYNAMIC MOMENT	: 1002.2 Tm
CORRESPONDING AXIAL LOAD	: 110.8 T
MAX. AXIAL LOAD	: 110.1 T
CORRESPONDING DYNAMIC MOMENT	: 766.66 Tm

TECHNICAL DATA

AREA CLASSIFICATION : CRANE IN SAFE AREA

MAIN HOIST : 15.0 T SWL - 2 FALLS

SPEED : 15.0 T, 2 FALLS @ 0-36.4 m/min

AUX. HOIST : 4.0 T SWL - 1 FALL

SPEED : 4.0 T, 1 FALL @ 0-66.8 m/min

LIFTING : MAX. RADIUS TO MIN. RADIUS
IN 18 secs APPROX.

SLEWING : 0-125 RPM

PRIME MOVER : DIESEL-HYDRAULIC

405 KW (540 HP) @ 2100 RPM

WIND SPEED : 16.0 m/s (OPERATING)

62.0 m/s (STONED)

NOTES

- THIS CRANE IS BUILT IN ACCORDANCE WITH API-2C 7TH EDITION.
- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES UNLESS SPECIFIED OTHERWISE.
- RATED LOAD IS IN METRIC TONNES AND REFERS TO LOAD BELOW THE HOOK.
- MAIN HOIST IS REEVED IN 2 FALLS.
- AUXILIARY HOIST IS REEVED IN SINGLE FALL.
- AXIAL LOADING AT PEDESTAL INTERFACE SHALL INCLUDE WEIGHT OF THE PEDESTAL ASSEMBLY.
- BOOM REST LOADINGS & LOADINGS AT LEVEL (A), (B) AND (C) SHOULD HAVE 45% VARIANCE.
- WIRE ROPE LENGTH PROVIDED IS SUFFICIENT FOR HOOK TO REACH EMPTY LOAD CONDITION WHICH IS 1000MM BELOW FULL DRAFT CONDITION.

VENDOR DRAWING NO. : M1000-0518-X00

PAGE : 2 OF 2

NOTES :

FOR APPROVAL

CONTRACT NO.

WIRE DECK NO.

MOB. NO.

PROJECT FILE : API00 ARJUNA 230

REVISIONS

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

PERTAMINA
PHE ONWJ



FILE

GENERAL ARRANGEMENT

SCALE

W/C

DATE

NO.

BY

FOR

REVISION

NO.

DATE

BY

FOR

REVISION

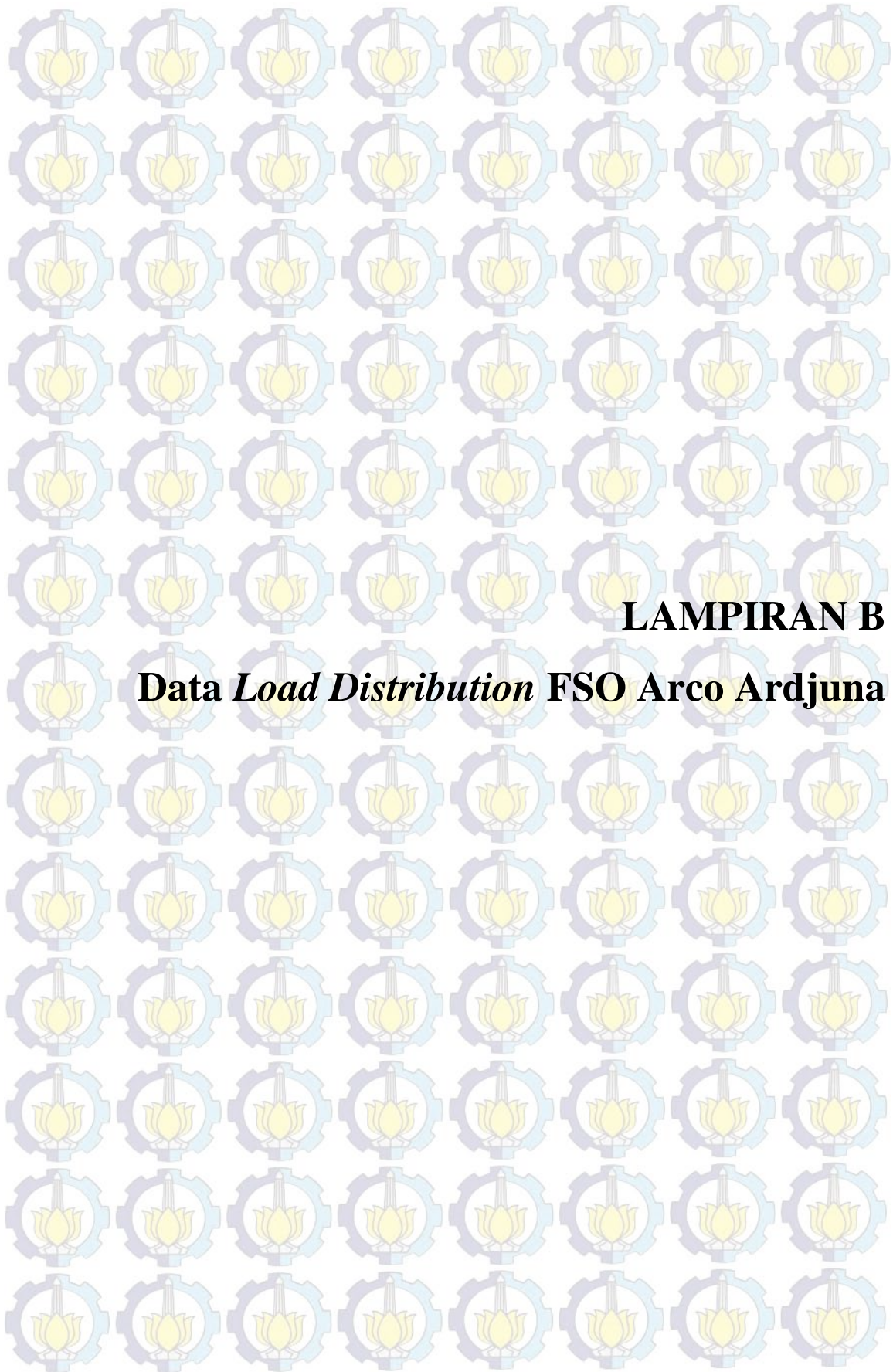
NO.

DATE

BY

CP-AA-M-GEN-5004

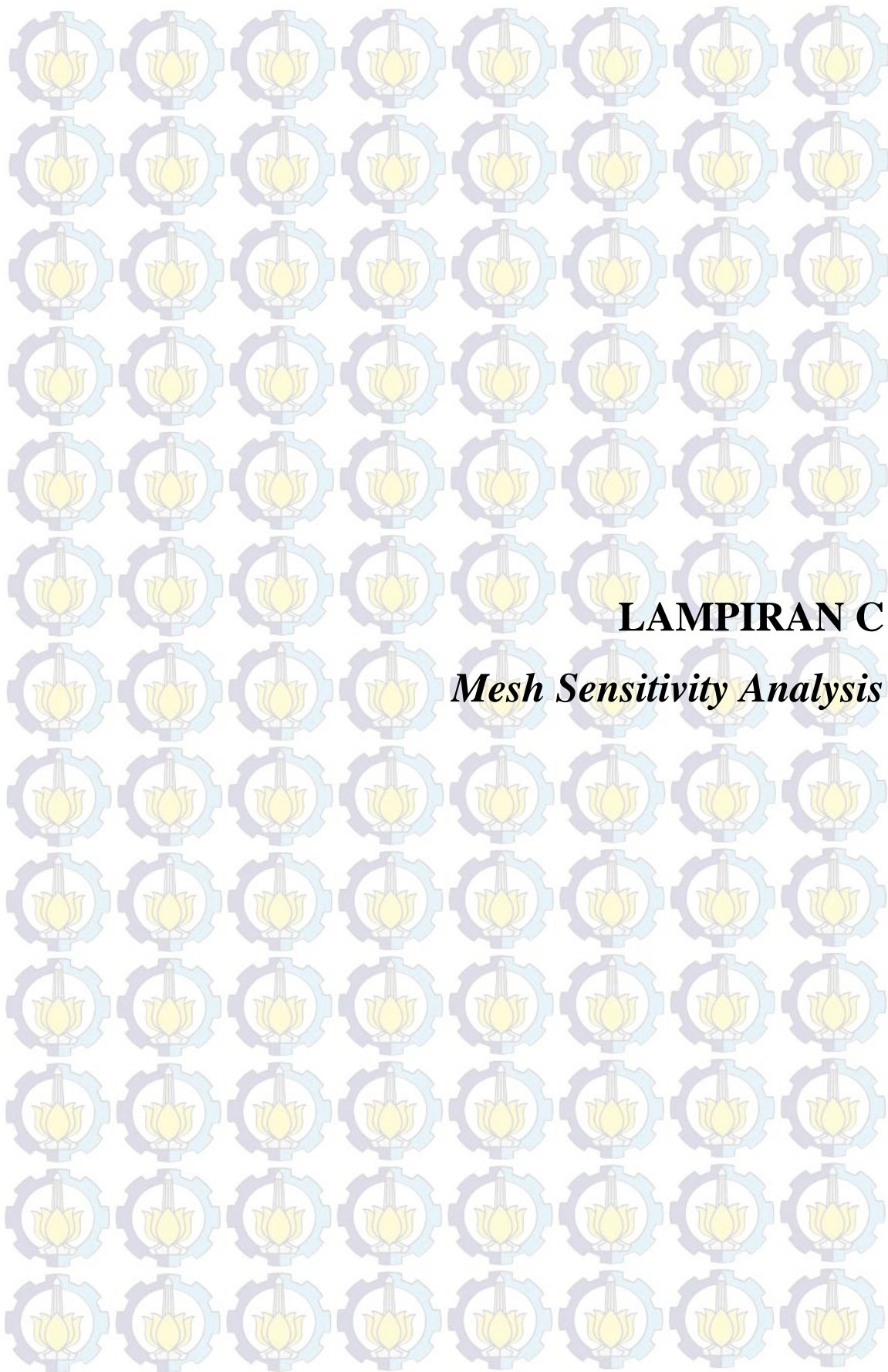
REV.



LAMPIRAN B

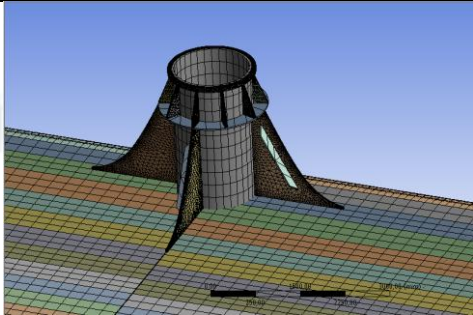
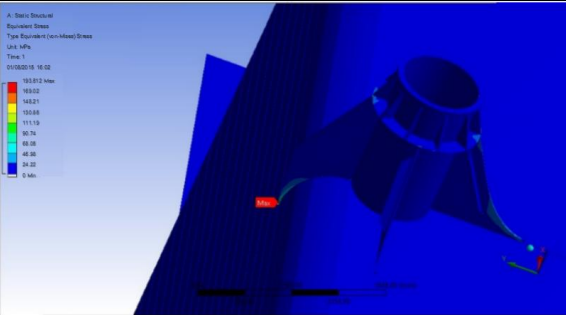
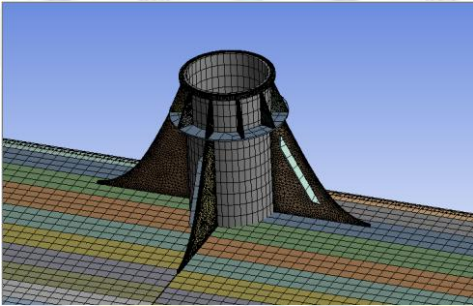
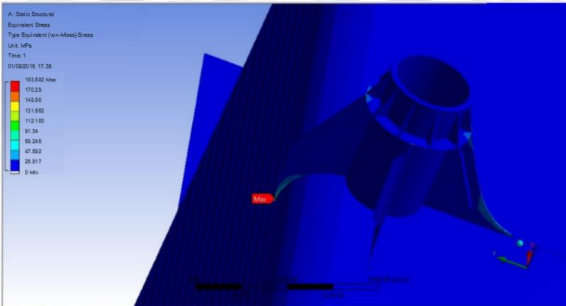
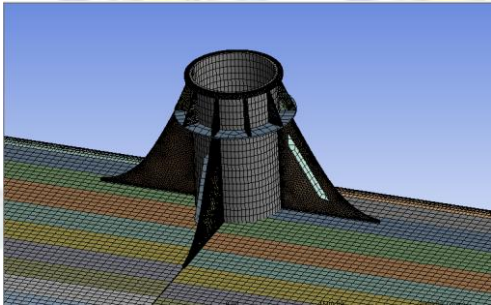
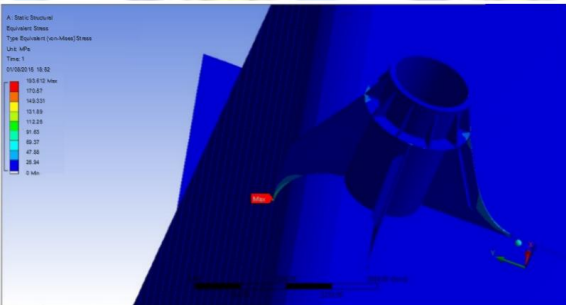
Data Load Distribution FSO Arco Ardjuna

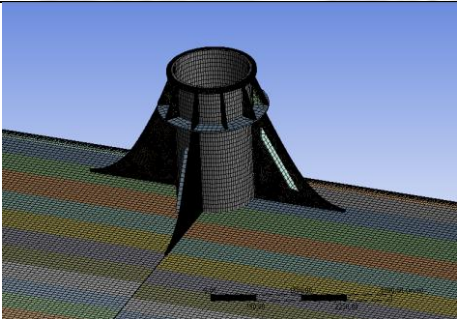
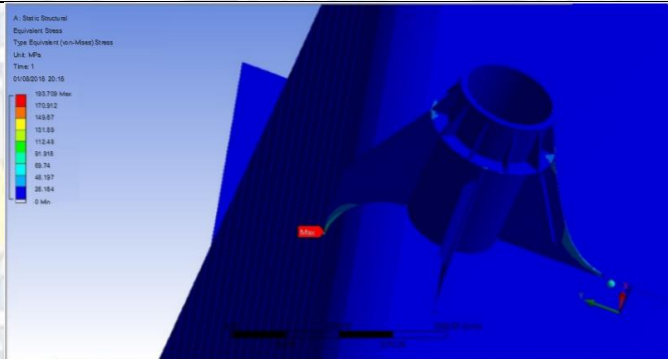
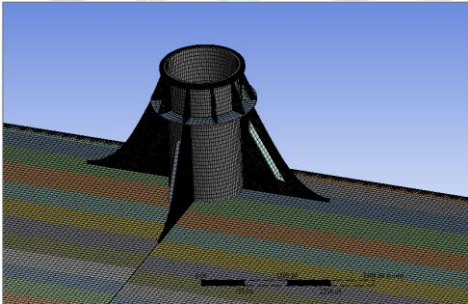
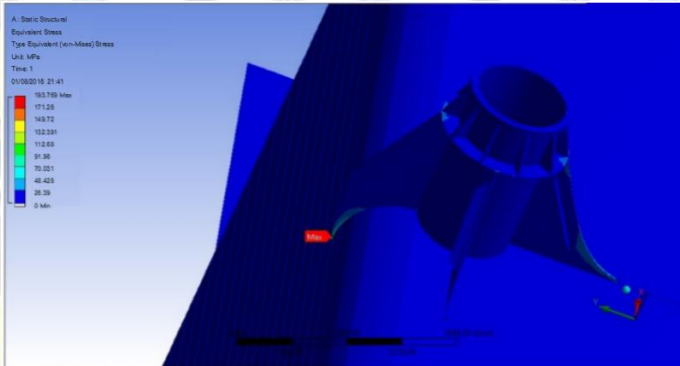
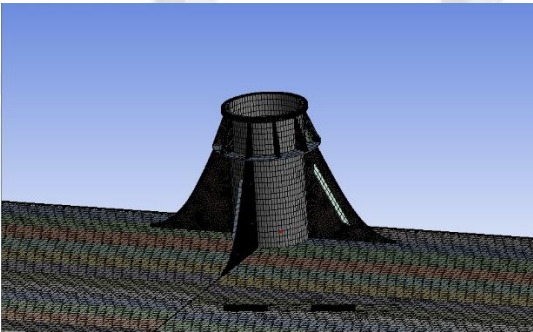
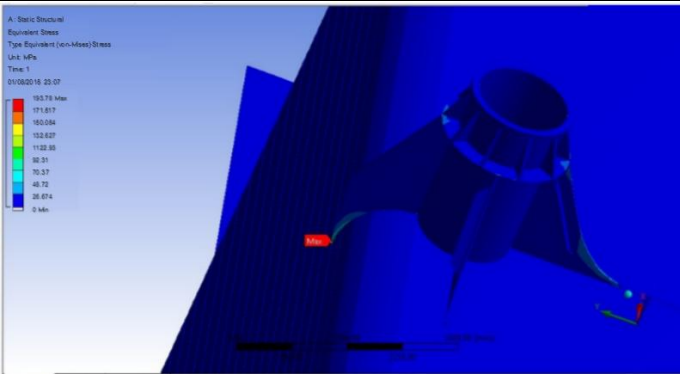
Pos	Type	Weight	C.O.G				Moment of C.O.G		
			From Indv.	x	y	z	x	y	z
Post 1	AE	105.814	0.15	0.575	0.010	13.201	60.843	1.037	1396.854
Post 2	Part Pump Room	32.776	0.00	2.300	0.009	13.129	75.386	0.292	430.321
Post 3	OT BHD + 1/2 Part Pump Room	308.728	0.21	4.600	0.010	13.228	1420.150	3.129	4083.787
Post 4	Fore OT BHD	193.240	-0.01	6.900	0.008	12.467	1333.356	1.449	2409.123
Post 5	Midship Type	238.650	-0.03	9.200	-0.010	12.833	2195.580	-2.482	3062.595
Post 6	Fore Mid Type	131.180	0.00	11.500	0.009	13.128	1508.570	1.168	1722.131
Post 7	Ordinary Frame	207.820	0.01	13.800	0.015	13.074	2867.916	3.055	2717.039
Post 8	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	16.100	0.009	13.129	2112.159	1.168	1722.394
Post 9	Ordinary Frame	207.820	0.01	18.400	0.015	13.074	3823.888	3.055	2717.039
Post 10	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	20.700	0.009	13.129	2715.633	1.168	1722.394
Post 11	Ordinary Frame	207.820	0.01	23.000	0.015	13.074	4779.860	3.055	2717.039
Post 12	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	25.300	0.009	13.129	3319.107	1.168	1722.394
Post 13	Swash BHD	272.462	0.00	27.600	0.009	13.171	7519.962	2.580	3588.602
Post 14	Fore Swash BHD	193.240	-0.01	29.900	0.008	12.467	5777.876	1.449	2409.123
Post 15	Midship Type	238.650	-0.03	32.200	-0.010	12.833	7684.530	-2.482	3062.595
Post 16	Fore Mid Type	131.180	0.00	34.500	0.009	13.128	4525.710	1.168	1722.131
Post 17	Ordinary Frame	207.820	0.01	36.800	0.015	13.074	7647.776	3.055	2717.039
Post 18	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	39.100	0.009	13.129	5129.529	1.168	1722.394
Post 19	Ordinary Frame	207.820	0.01	41.400	0.015	13.074	8603.748	3.055	2717.039
Post 20	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	43.700	0.009	13.129	5733.003	1.168	1722.394
Post 21	Ordinary Frame	207.820	0.01	46.000	0.015	13.074	9559.720	3.055	2717.039
Post 22	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	48.300	0.009	13.129	6336.477	1.168	1722.394
Post 23	OT BHD	423.530	0.15	50.600	0.010	13.201	21430.618	4.151	5591.020
Post 24	Fore OT BHD	193.240	-0.01	52.900	0.008	12.467	10222.396	1.449	2409.123
Post 25	Midship Type	238.650	-0.03	55.200	-0.010	12.833	13173.480	-2.482	3062.595
Post 26	Fore Mid Type	131.180	0.00	57.500	0.009	13.128	7542.850	1.168	1722.131
Post 27	Ordinary Frame	207.820	0.01	59.800	0.015	13.074	12427.636	3.055	2717.039
Post 28	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	62.100	0.009	13.129	8146.899	1.168	1722.394
Post 29	Ordinary Frame	207.820	0.01	64.400	0.015	13.074	13383.608	3.055	2717.039
Post 30	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	66.700	0.009	13.129	8750.373	1.168	1722.394
Post 31	Ordinary Frame	207.820	0.01	69.000	0.015	13.074	14339.580	3.055	2717.039
Post 32	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	71.300	0.009	13.129	9353.847	1.168	1722.394
Post 33	Swash BHD	272.462	0.00	73.600	0.009	13.171	20053.232	2.580	3588.602
Post 34	Fore Swash BHD	193.240	-0.01	75.900	0.008	12.467	14666.916	1.449	2409.123
Post 35	Midship Type	238.650	-0.03	78.200	-0.010	12.833	18662.430	-2.482	3062.595
Post 36	Fore Mid Type	131.180	0.00	80.500	0.009	13.128	10559.990	1.168	1722.131
Post 37	Ordinary Frame	207.820	0.01	82.800	0.015	13.074	17207.496	3.055	2717.039
Post 38	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	85.100	0.009	13.129	11164.269	1.168	1722.394
Post 39	Ordinary Frame	207.820	0.01	87.400	0.015	13.074	18163.468	3.055	2717.039
Post 40	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	89.700	0.009	13.129	11767.743	1.168	1722.394
Post 41	Ordinary Frame	207.820	0.01	92.000	0.015	13.074	19119.440	3.055	2717.039
Post 42	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	94.300	0.009	13.129	12371.217	1.168	1722.394
Post 43	OT BHD	423.530	0.15	96.600	0.010	13.201	40912.998	4.151	5591.020
Post 44	Fore OT BHD	193.240	-0.01	98.900	0.008	12.467	19111.436	1.449	2409.123
Post 45	Midship Type	238.650	-0.03	101.200	-0.010	12.833	24151.380	-2.482	3062.595
Post 46	Fore Mid Type	131.180	0.00	103.500	0.009	13.128	13577.130	1.168	1722.131
Post 47	Ordinary Frame	207.820	0.01	105.800	0.015	13.074	21987.356	3.055	2717.039
Post 48	Fore Ordinary Frame	207.820	0.01	108.100	0.015	13.074	22465.342	3.055	2717.039
Post 49	Ordinary Frame	207.820	0.01	110.400	0.015	13.074	22943.328	3.055	2717.039
Post 50	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	112.700	0.009	13.129	14785.113	1.168	1722.394
Post 51	Ordinary Frame	207.820	0.01	115.000	0.015	13.074	23899.300	3.055	2717.039
Post 52	Fore Ordinary Frame	131.190	0.00	117.300	0.009	13.129	15388.587	1.168	1722.394
Post 53	Swash BHD	272.462	0.00	119.600	0.009	13.171	32586.502	2.580	3588.602
Post 54	Fore Swash BHD	187.399	-0.01	121.900	0.008	12.467	22843.903	1.405	2336.300
Post 55	Midship Type	214.393	-0.03	124.200	-0.010	12.833	26627.580	-2.230	2751.302
Post 56	Fore Mid Type	103.481	-0.03	126.500	0.009	13.128	13090.298	0.921	1358.494
Post 57	Ordinary Frame	142.585	0.01	128.800	0.015	13.074	18364.970	2.096	1864.159
Post 58	Fore Ordinary Frame	75.624	0.00	131.100	0.009	13.129	9914.246	0.673	992.861
Post 59	Swash BHD	127.163	0.00	133.400	0.009	13.171	16963.586	1.204	1674.868
Post 60	Fore Swash BHD	68.971	0.00	135.700	0.008	12.467	9359.396	0.517	859.864
Post 61	Ordinary Frame	52.748	0.01	138.000	0.015	13.074	7279.160	0.775	689.621
Post 62	Fore Ordinary Frame	18.846	0.00	140.300	0.009	13.129	2644.123	0.168	247.432
Post 63	FE BHD	25.138	0.15	142.025	0.010	13.201	3570.160	0.246	331.841
Total Hull Structure		11105.243		67.509	0.008	13.014	749704.161	92.176	144520.924
Lightship		15529.000		70.010	0.000	14.040	1087185.290	0.000	218027.160
Others Part	Top Module & Other Const.	4423.757		76.288	-0.021	16.616	337481.129	-92.176	73506.236



LAMPIRAN C

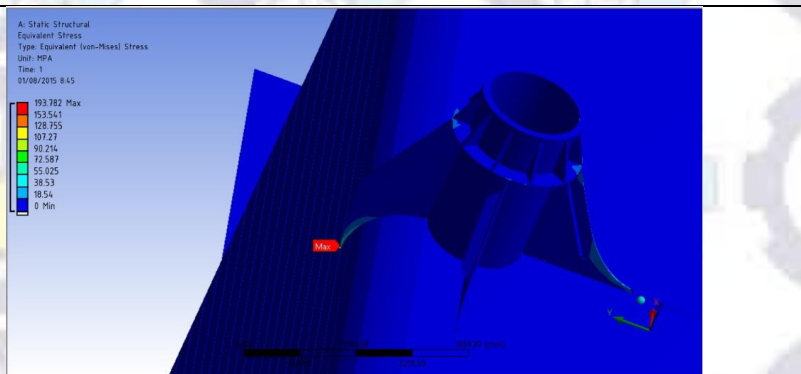
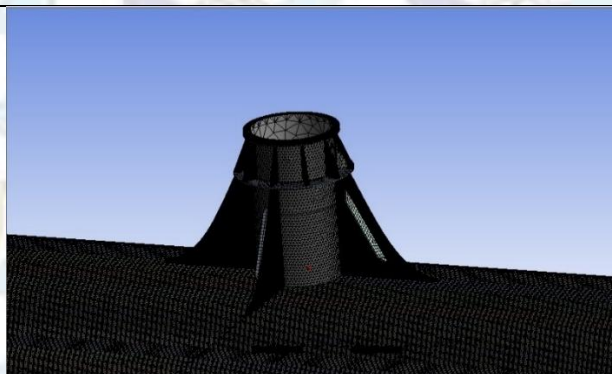
Mesh Sensitivity Analysis

MESHING SIZE	NUMB OF ELEMENT	MESH MODEL	VON MISES MODEL
500	861610		
450	866117		
250	901794		

200	958583		
175	992021		
160	1005359		

150

1060538



BIODATA PENULIS



Eva Juniati dilahirkan di kota Sukoharjo pada 12 Juni 1993. Lahir dari keluarga yang sederhana yang merupakan anak ke 3 dari 2 bersaudara pasangan Sudar dan Wagiyem. Penulis menempuh pendidikan SD, SMP dan SMA di Sukoharjo. Setelah itu, tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya melalui SNMPTN Undangan jalur beasiswa Bidik Misi. Selama di bangku perkuliahan penulis aktif di berbagai organisasi mahasiswa, kegiatan sosial, dan kegiatan-kegiatan yang lain baik di tingkat institut maupun nasional. Penulis pernah menjadi juara ketiga dalam kegiatan Pekan Ilmiah Nasional yang ke 23 di Mataram. Penulis juga aktif dalam kegiatan pengabdian masyarakat, kepanitiaan dan organisasi di tingkat jurusan, fakultas dan institut. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kepalang merah dan sekaligus pengurus di Unit Kegiatan Mahasiswa PMI KSR ITS. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan seminar internasional dalam rangka publikasi paper penelitian yang dilakukan dari University Tohoku dari Jepang dan perusahaan Total. Motto penulis ialah *be the best what ever you are*. Penulis yakin jika setiap orang selalu melakukan kebaikan untuk orang lain dan dirinya sendiri. Allah SWT pasti memberikan kemudahan dalam kehidupannya.

Contact Person: evajuniati99@gmail.com